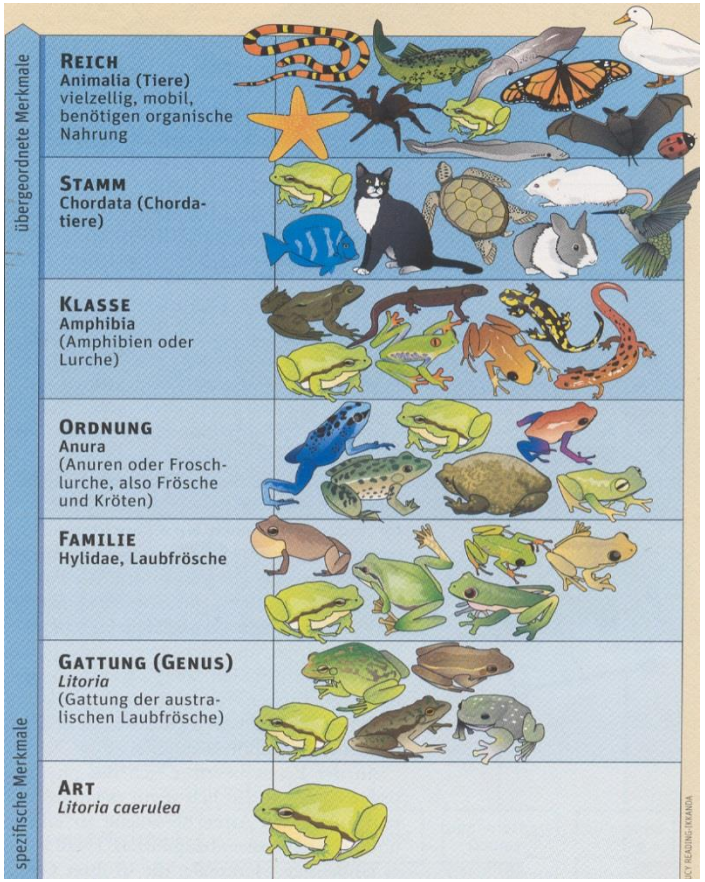
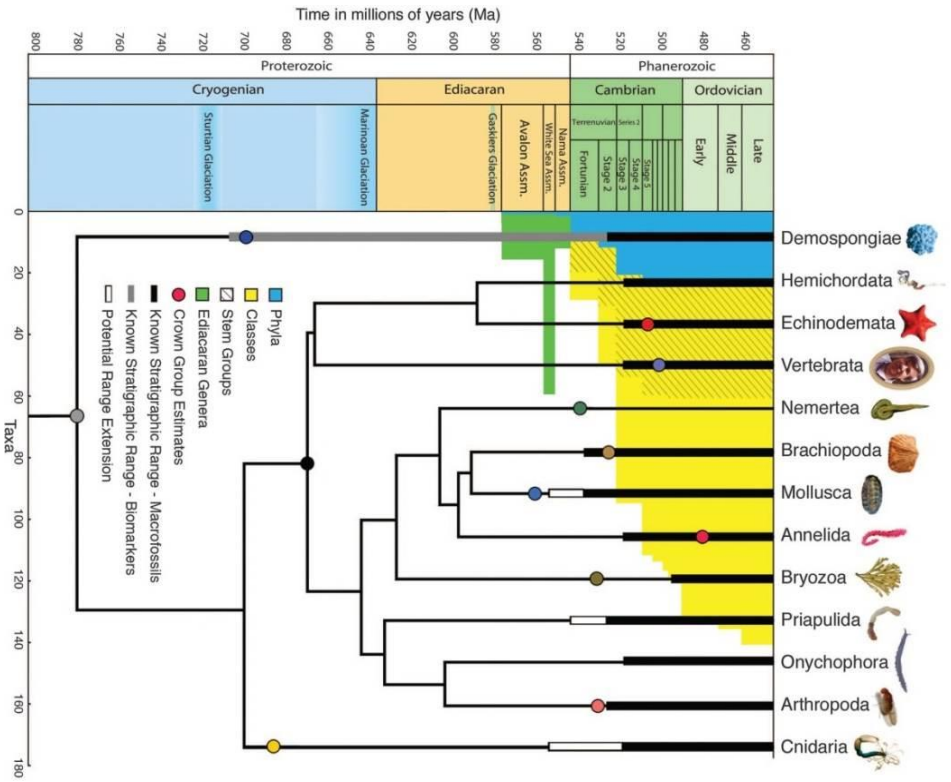
Systematische Zoologie
– oder Zoologische Systematik



- **eine Einführung ins Reich der Tiere**

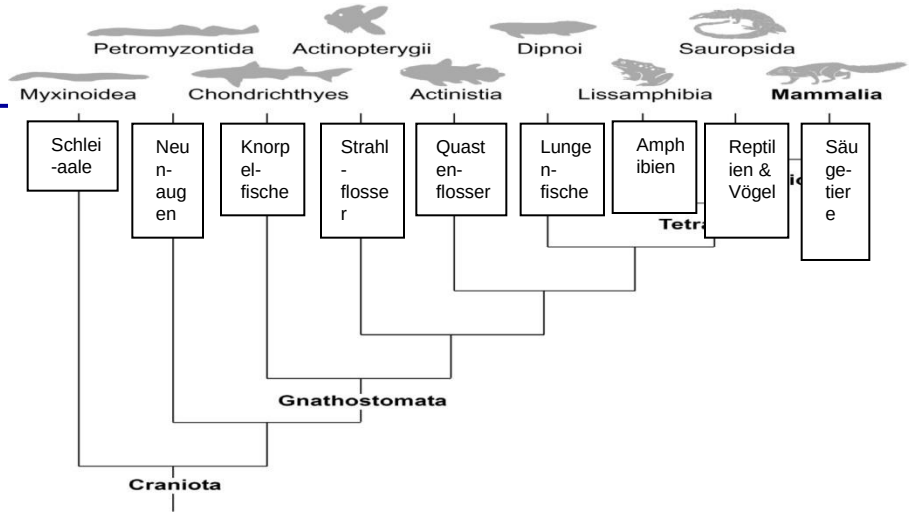


Matthias Glaubrecht

CeNak
Centrum für Naturkunde

Craniota (Schädeltiere)

- **Zur traditionellen Systematik**



1. Agnatha (Kieferlose)

1.1 Cyclostomata (Rundmäuler)

Myxinoidea (Schleimaale) und Petromyzonta

2. Gnathostomata (Kiefermünder)

2.1 „Pisces“ (Fische)

Chondrichthyes (Knorpelfische)

Osteichthyes (Knochenfische)

Anamnia:
Pisces + Amphibia

2.2 Tetrapoda (Vierfüßer, Landwirbeltiere)

Amphibia (Lurche)

„Reptilia“ (Kriechtiere)

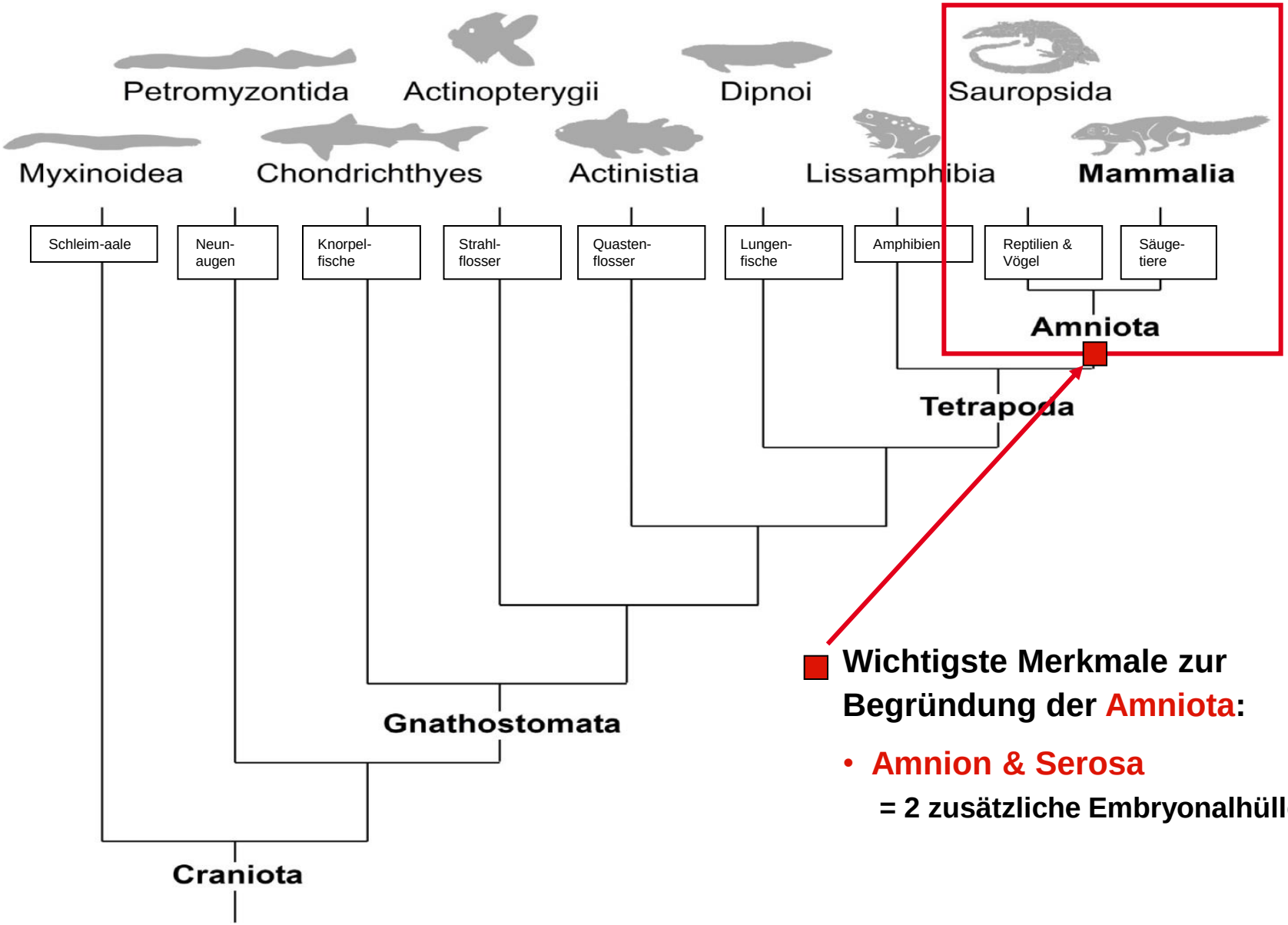
Aves (Vögel)

Sauropsida

Amniota

Mammalia (Säugetiere)

Amniota (Nabeltiere)



Wichtigste Merkmale zur Begründung der Amniota:

- **Amnion & Serosa**
  = 2 zusätzliche Embryonalhüllen

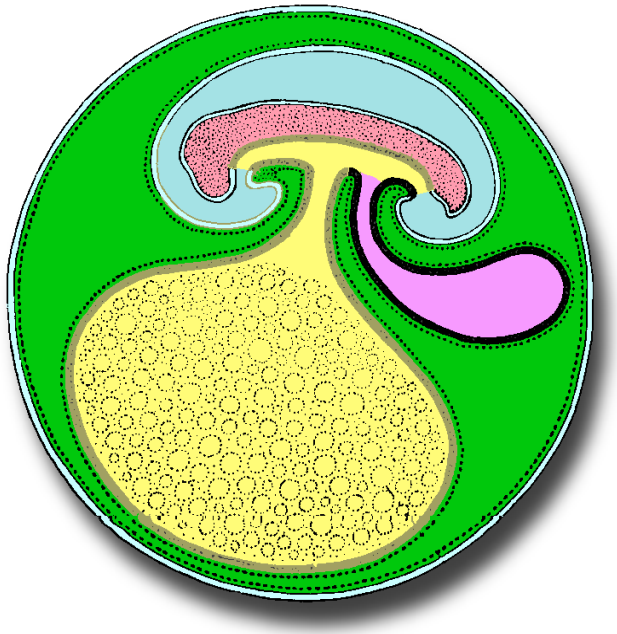
Amniota (Nabeltiere)

- **Wichtigste Merkmale zur Begründung der Amniota:**

  Amnion & Serosa = 2 zusätzliche Embryonalhüllen)

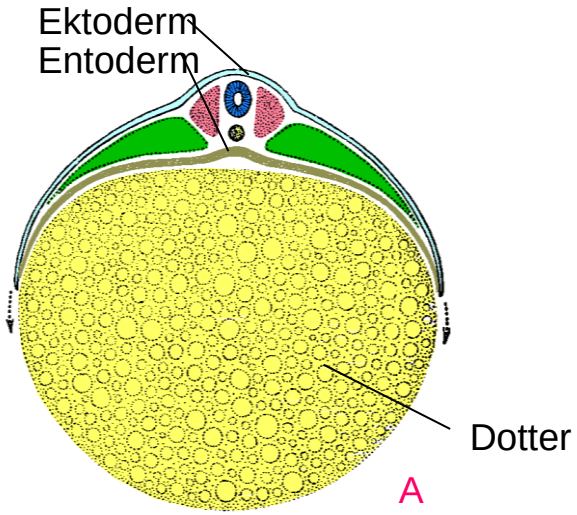
  ***amnós*, gr. = das Schaf / *ámnion*, gr. = Schafhaut**

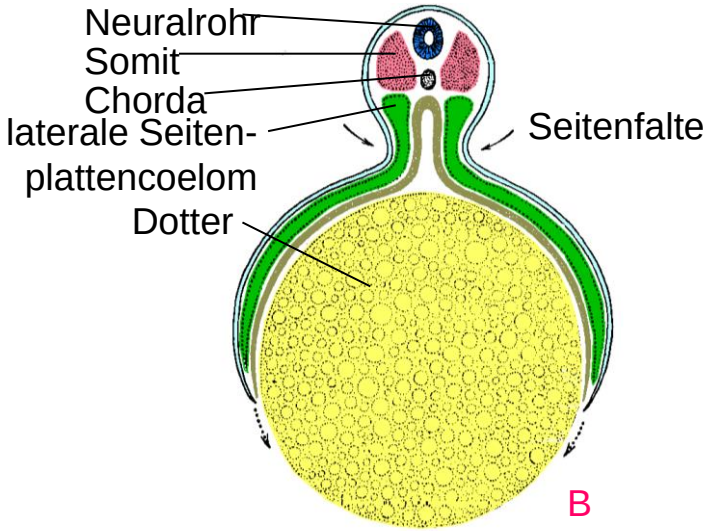
- Amnionbildung
- harte Eischale
- dotterreiche Eier
- meroblastische (partielle) Furchung
- Harnsäurebildung (wasserlöslicher Harnstoff würde im Ei zu Vergiftung führen)
- Allantois: embryonale Harnblase
- Wegfall der Metamorphose / keine freien Larven
- zwei oder mehr Halswirbel
- Atlas-Axis-Komplex (1. + 2. Halswirbel)
- Reduktion der Carpalia und Tarsalia
- Ausbildung von echten Krallen
- Niere in Form der Nachniere (Metanephros)



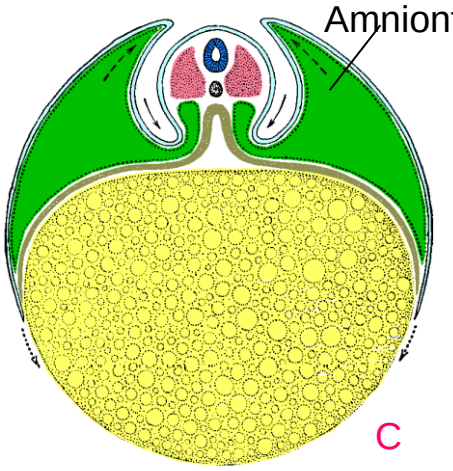
Amniota vs. Anamnia

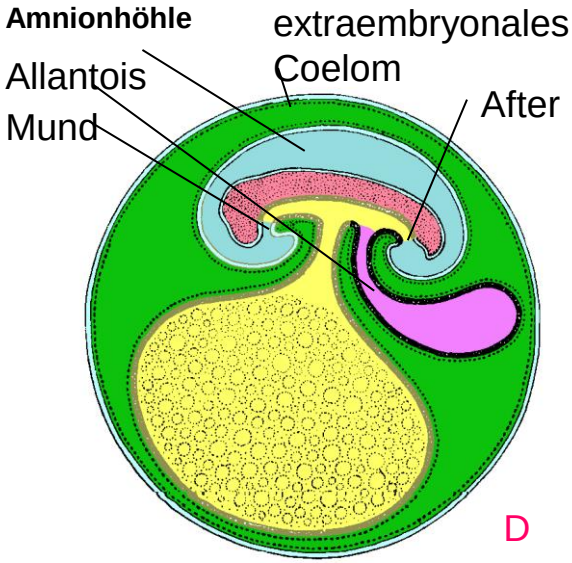
- **Embryonalentwicklung bei Fisch und Vogel im Vergleich**





A und B Fischentwicklung, Querschnitt





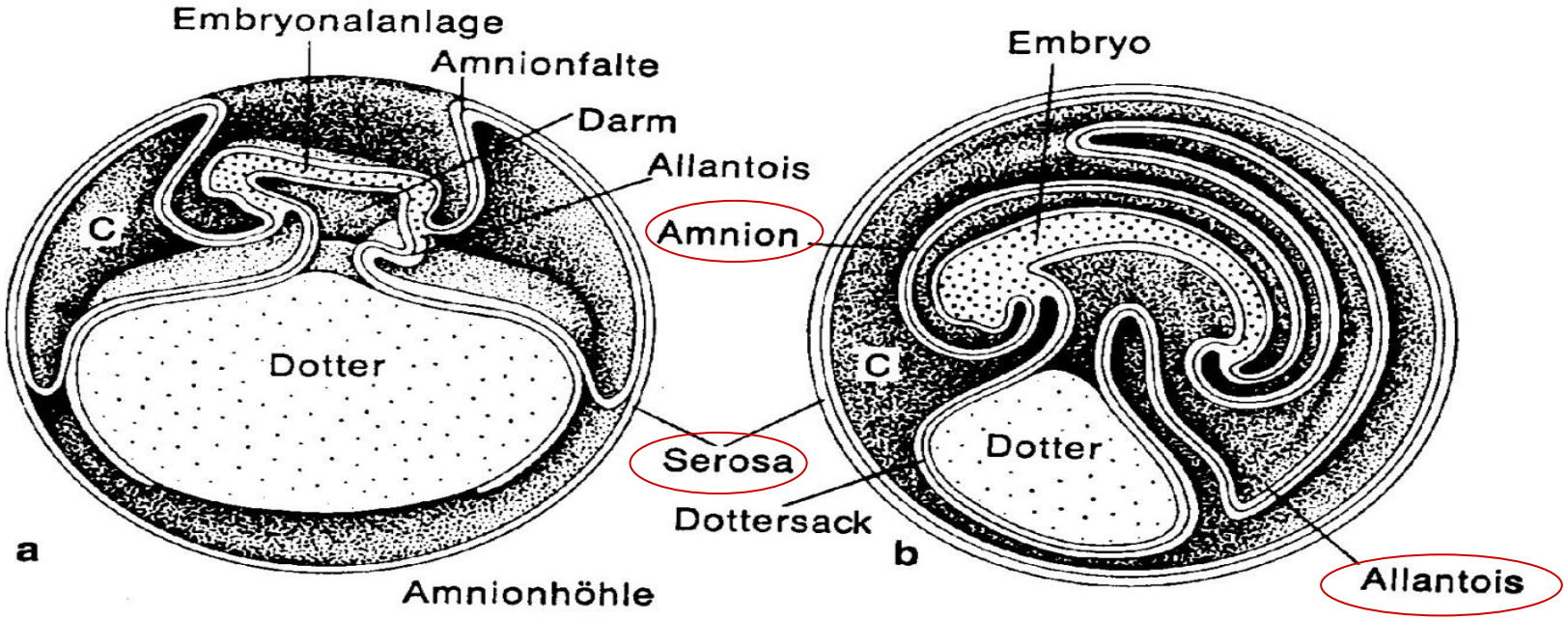
C und D Vogelentwicklung,
C Querschnitt, D Längsschnitt

Amniota

- Das Amnion geht aus 2 ektodermalen Falten hervor, die über dem Embryo miteinander verschmelzen.

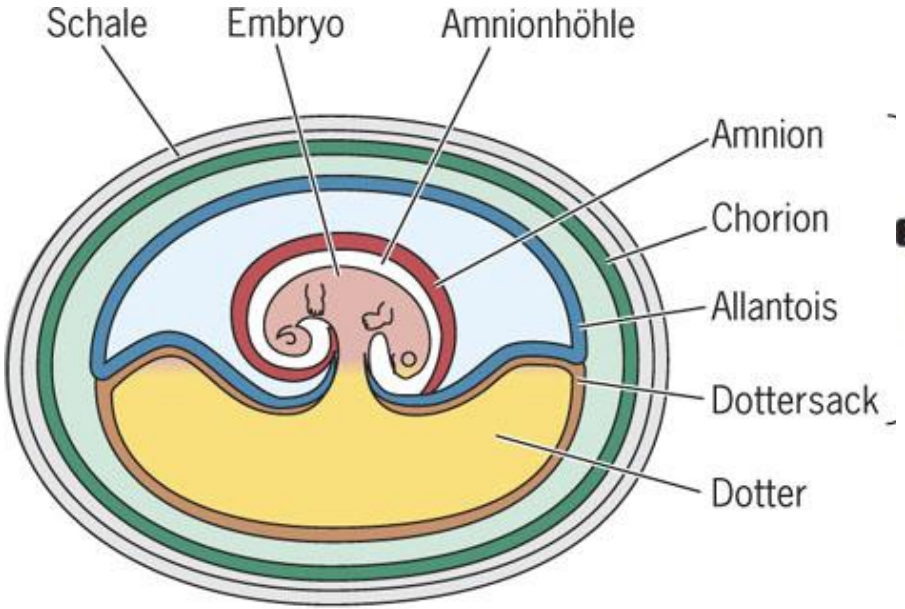
- Von den Wänden dieser Falten werden die zum Grundplan der Amniota gehörenden Embryonalhüllen Amnion und Serosa gebildet.

- Die Flüssigkeit der Amnionhöhle, in die der Embryo auf diese Weise eingeschlossen wird, ersetzt das freie Wasser in dem sich die übrigen Vertebrata entwickeln.

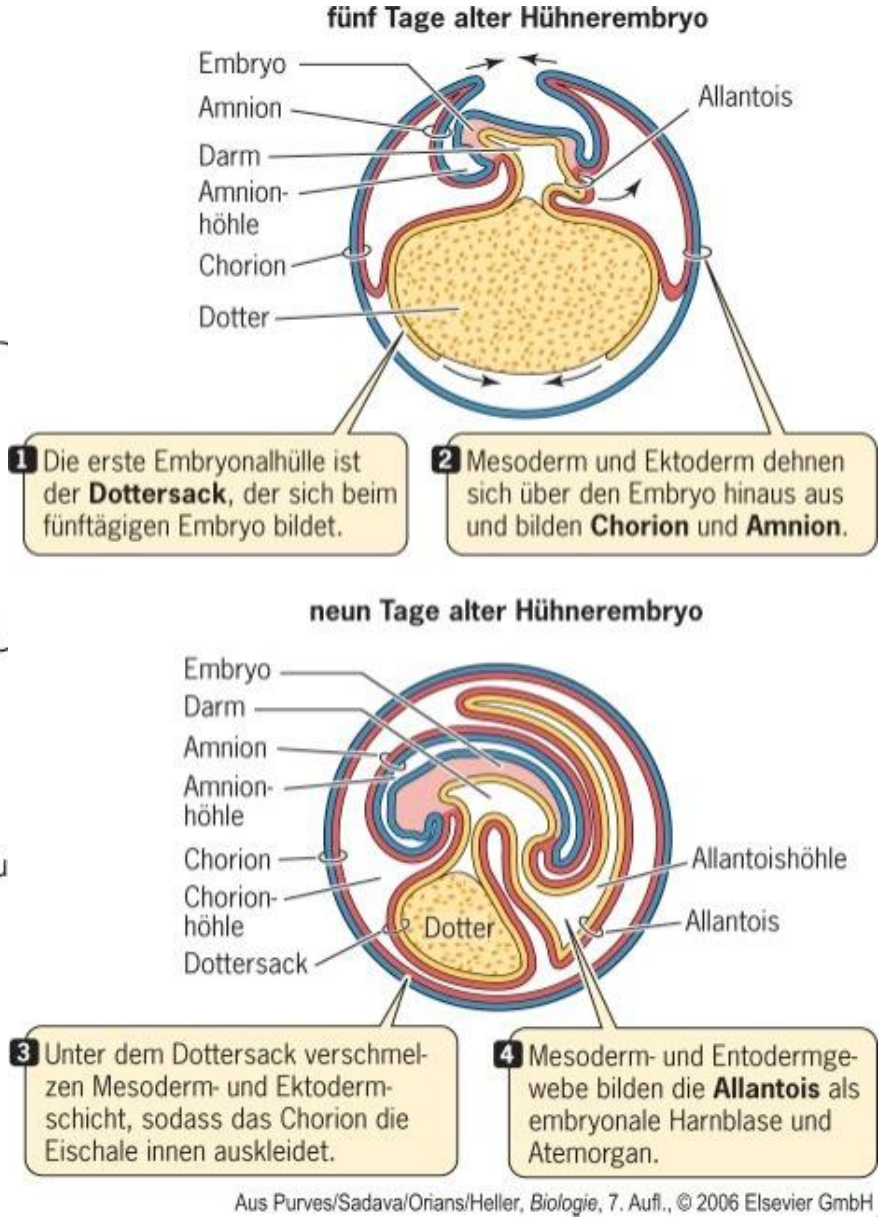


Amniota

- **Amnion & Allantois**

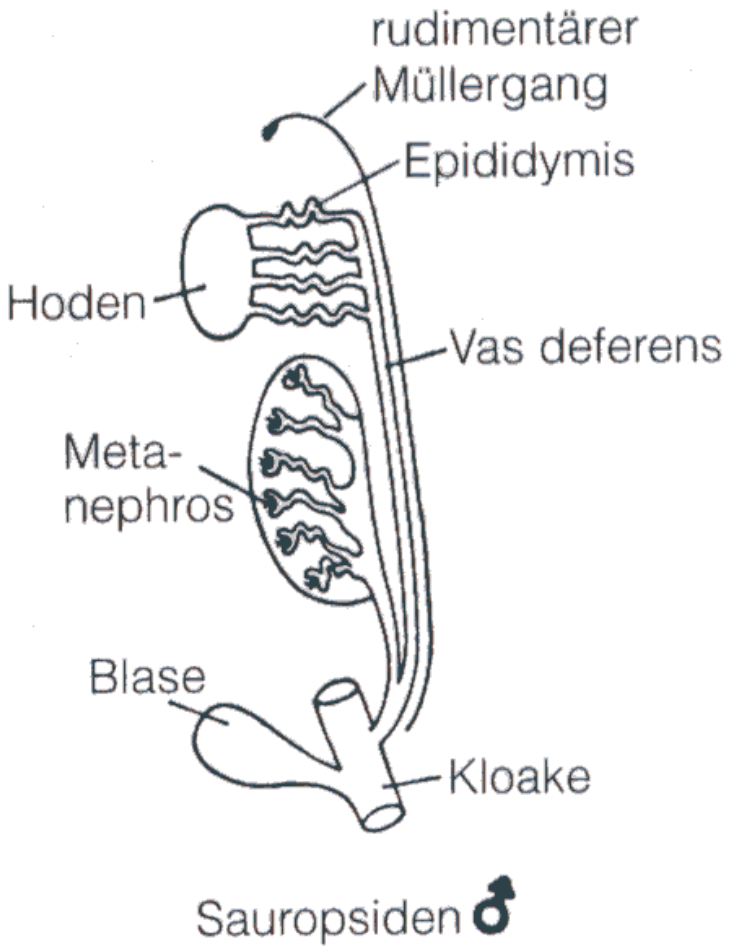


Aus Purves/Sadava/Orians/Heller, *Biologie*, 7. Au



Aus Purves/Sadava/Orians/Heller, *Biologie*, 7. Aufl., © 2006 Elsevier GmbH

- **Exkretion**

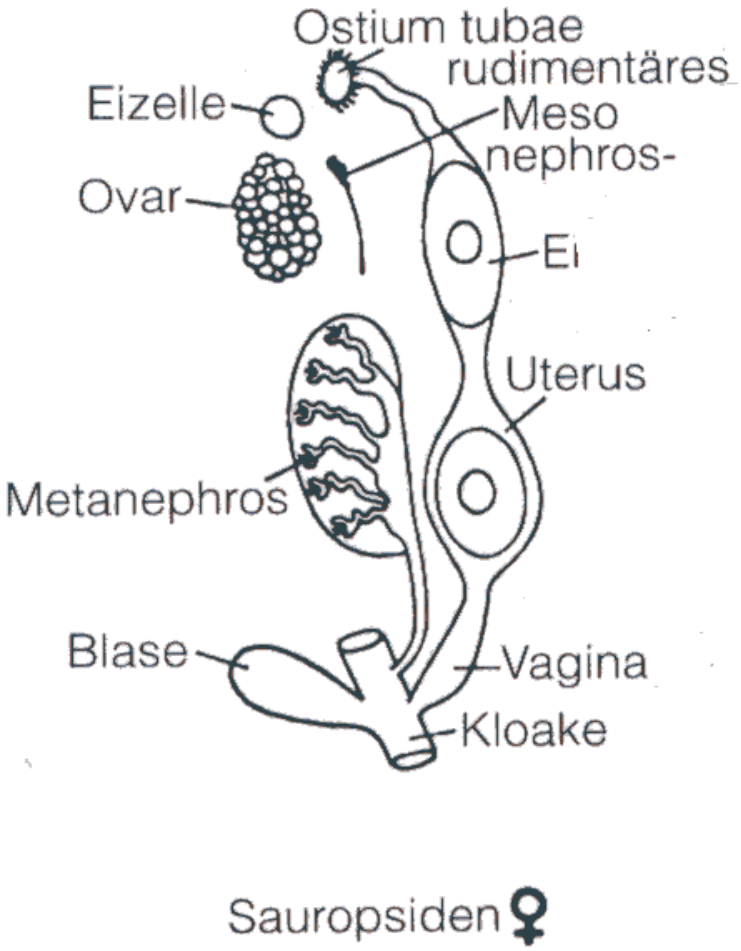


• Als Exkretionsorgan dient bei den Amniota nur noch der hintere Abschnitt der ursprünglichen Niere, Nachniere (**Metanephros**).

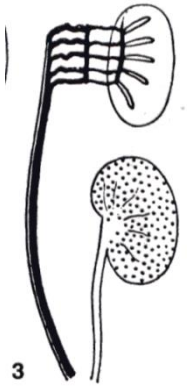
Er besitzt einen eigenen Ausführgang, den sekundären Harnleiter (Ureter), der vom Wolffschen Gang (urspr. Nierengang) auswächst.
Wolffscher Gang wird zum Samenleiter.

Craniota

- **Exkretion**

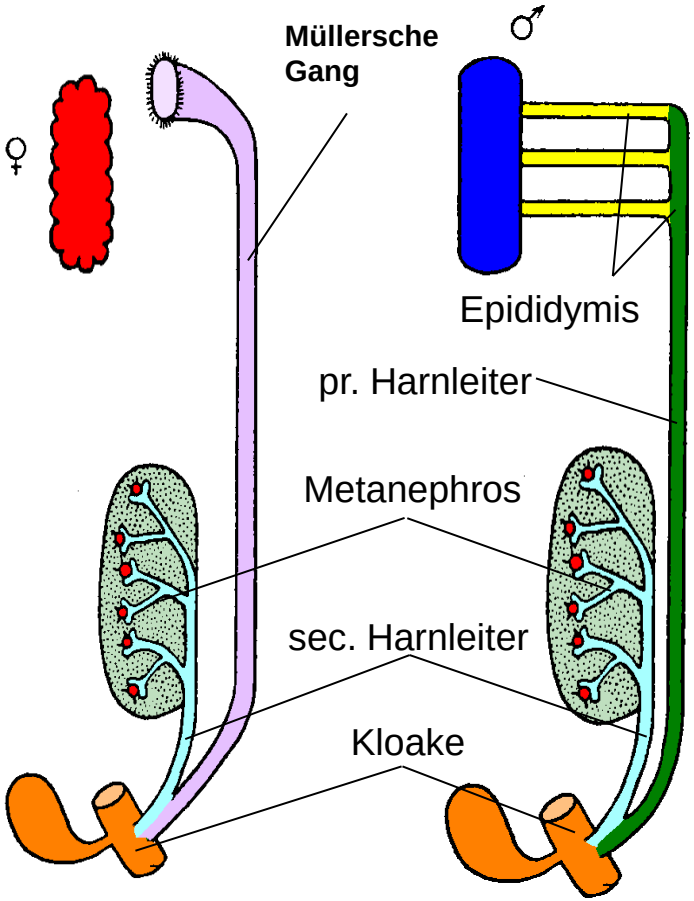


Sauropsiden ♀

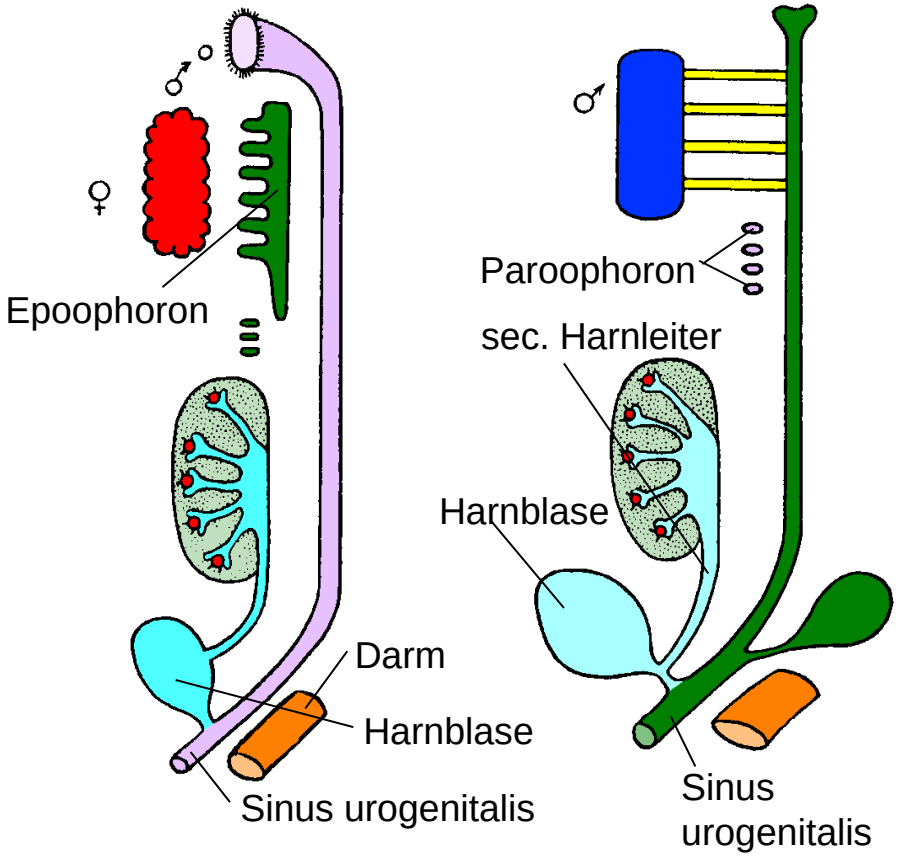


Männchen

Die Verbindung zwischen Gonade und Niere im Wandel der Vertebratenentwicklung III



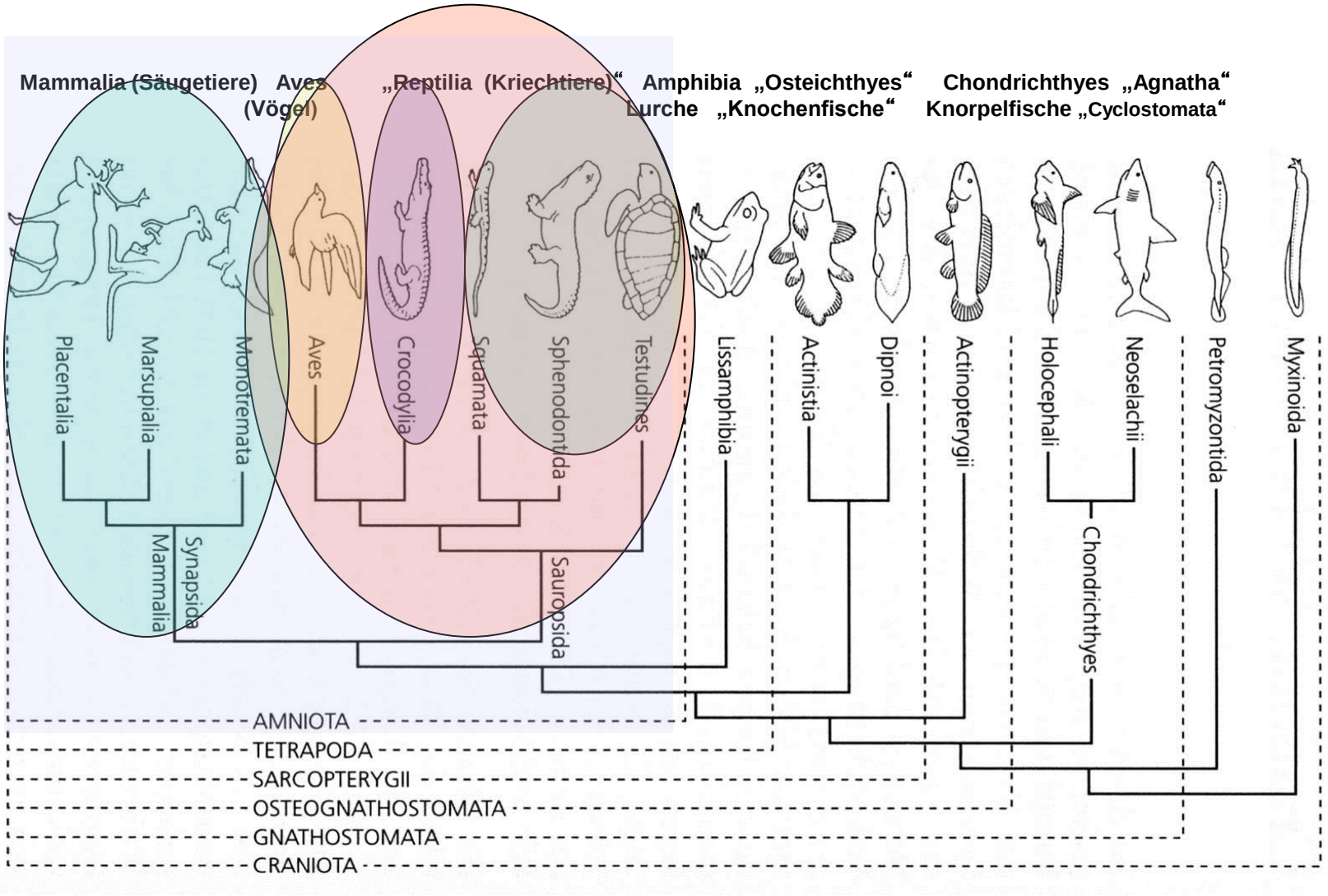
E Gonaden- Nieren-Beziehung bei Reptilia und Vögeln



F Gonaden- Nieren-Beziehung bei Mammalia

Craniota & Amniota

- **Phylogenetische Übersicht**



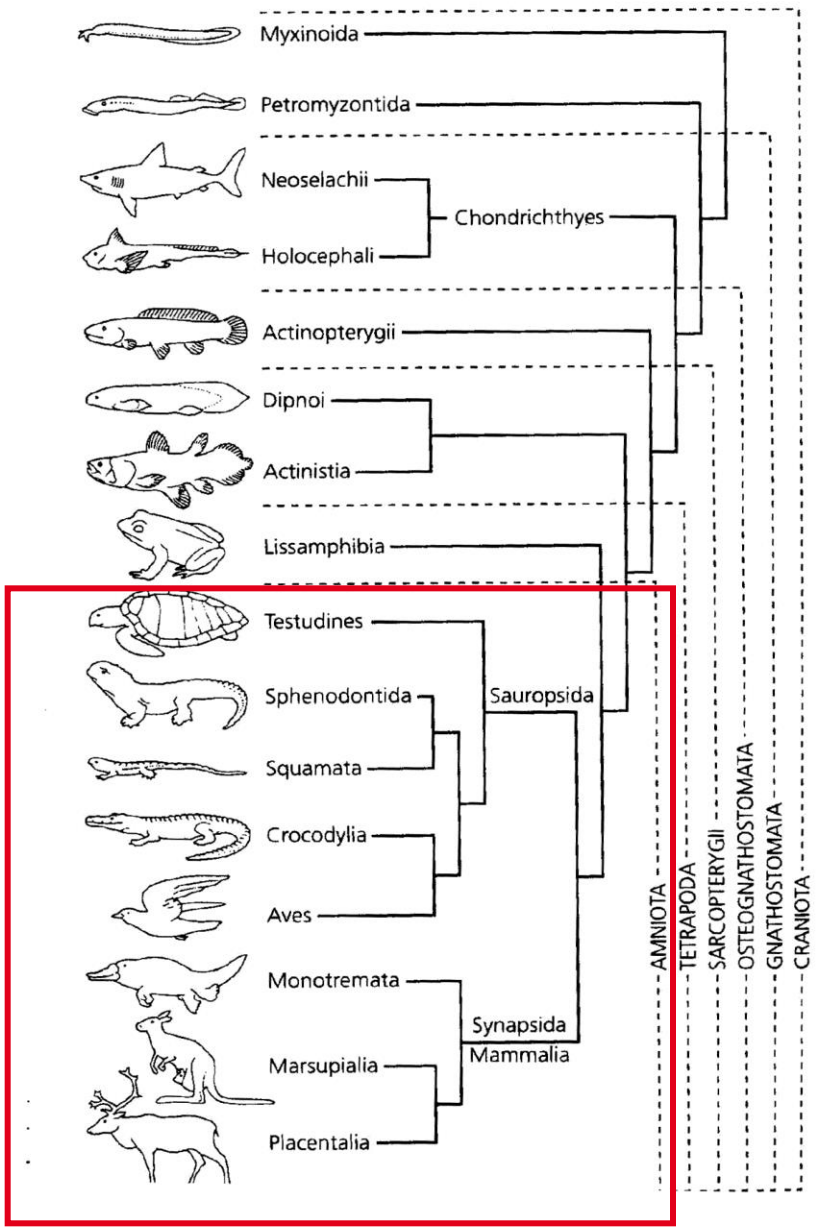
Amniota

- **Dazu gehören 2 Gruppen**

A – Sauropsida:

- **Chelonia**
- **Archosauria:** Crocodylia + Aves + (†"Dinosauria", †Pterosauria)
- **Lepidosauria:** Squamata + Sphenodontia (Rhynchocephalia)

B – Mammalia



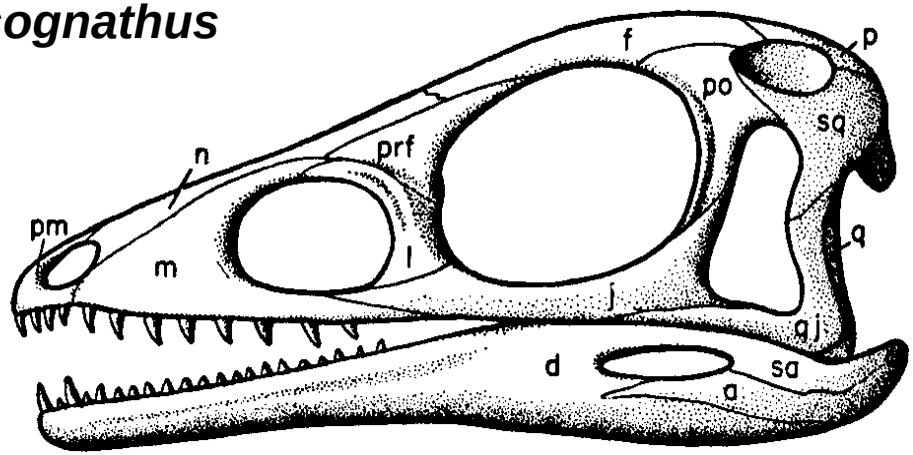
Sauropsida

- **synapsider Schädel (Säuger)**

- **diapsider Schädel bei *Sphenodon***

Praeorbital- und Mandibularfenster

Compsognathus



Amniota

- **Dazu gehören 2 Gruppen**

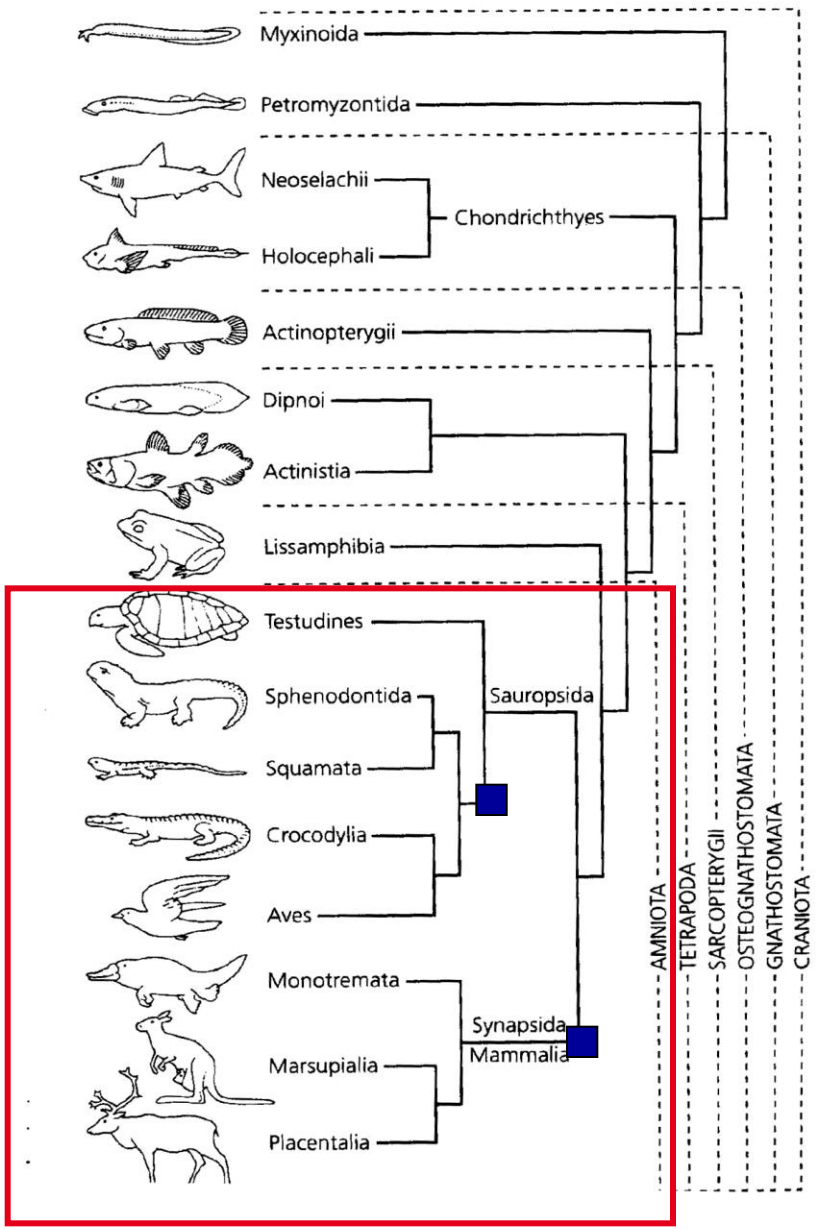
A – Sauropsida:

- **Chelonia** **Anapsida**
- **Archosauria:** Crocodylia + Aves + (†"Dinosauria", †Pterosauria)
- **Lepidosauria:** Squamata + Sphenodontia (Rhynchocephalia)

Diapsida

B – Mammalia

Synapsida



Amniota

- **Sauropsida**

Amniota

amnós, gr. = das Schaf; ámnion gr. Schafhaut;

1. **Amnionbildung**
2. **Harte Eischale**
3. **Dotterreiche Eier**
4. **Meroblastische Furchung**
5. **Wegfall der Metamorphose**
6. **Embryonale Umbildung der Harnblase**
7. **Zwei oder mehr Halswirbel**
8. **Reduktion der Carpalia und Tarsalia (Sprungbeinbildung)**
9. **Ausbildung von Krallen**

Sauropsida

saurós, gr. = Echse
opsis, gr. = Aussehen

„Reptilia“ und Aves

Mammalia
(rezente Synapsida)

„Reptilia“ (Kriechtiere, Reptilien)

Die **Sauropsida** umfassen die rezenten Wirbeltierklassen der **„Reptilia“** und **Aves**.

Die **„Reptilia“** sind eine **paraphyletische Gruppe**, die diejenigen Amniota beinhaltet, die weder den Vögeln, noch den Säugetieren angehören.
Der Begriff **„Reptilia“** für **Schildkröten** (Testudines), **Brückenechsen** (Sphenodontida), **Schuppenkriechtiere** (Lepidosauria) und **Krokodile** (Crocodylia) ist aber so weit verbreitet, dass der Name **außer im systematischen Sinne** durchaus benutzt werden kann.

Übersicht der rezenten Sauropsida

1. Testudines (Schildkröten)

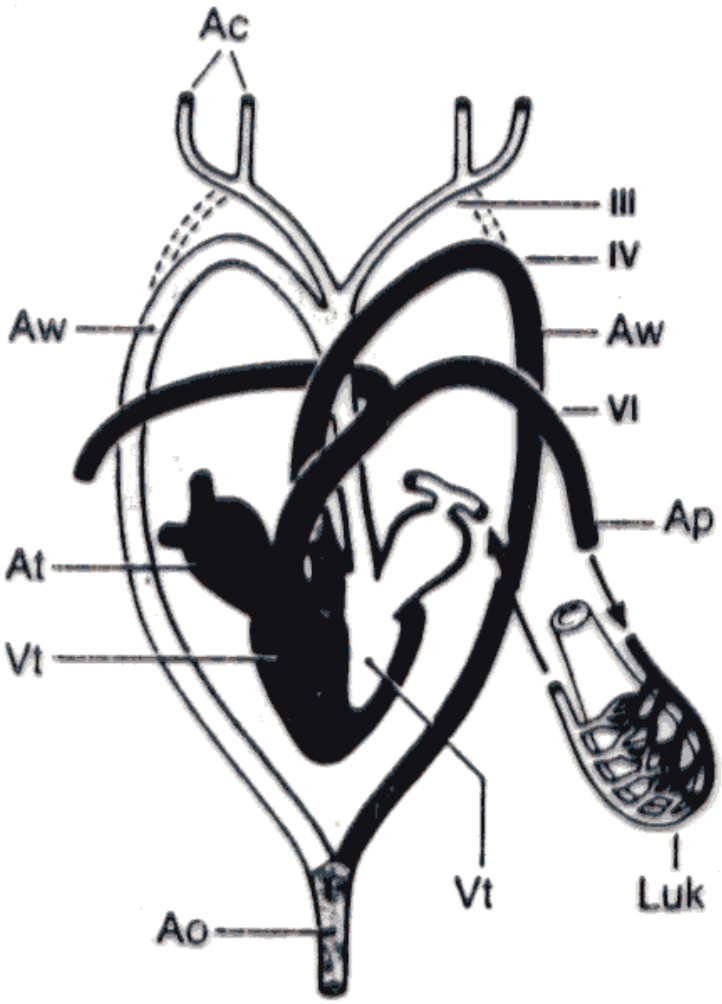
2. Diapsida

   2.1 Lepidosauria (Schuppenkriechtiere)
      2.1.1 Sphenodontida (Brückenechsen)
      2.1.2 Squamata (Schuppenkriechtiere i. e. S.)

   2.2 Archosauria
      2.2.1 Crocodylia (Krokodile)
      2.2.2 (Dinosauria inkl.) Aves (Vögel)

Reptilien

- **Blutkreislaufsystem**



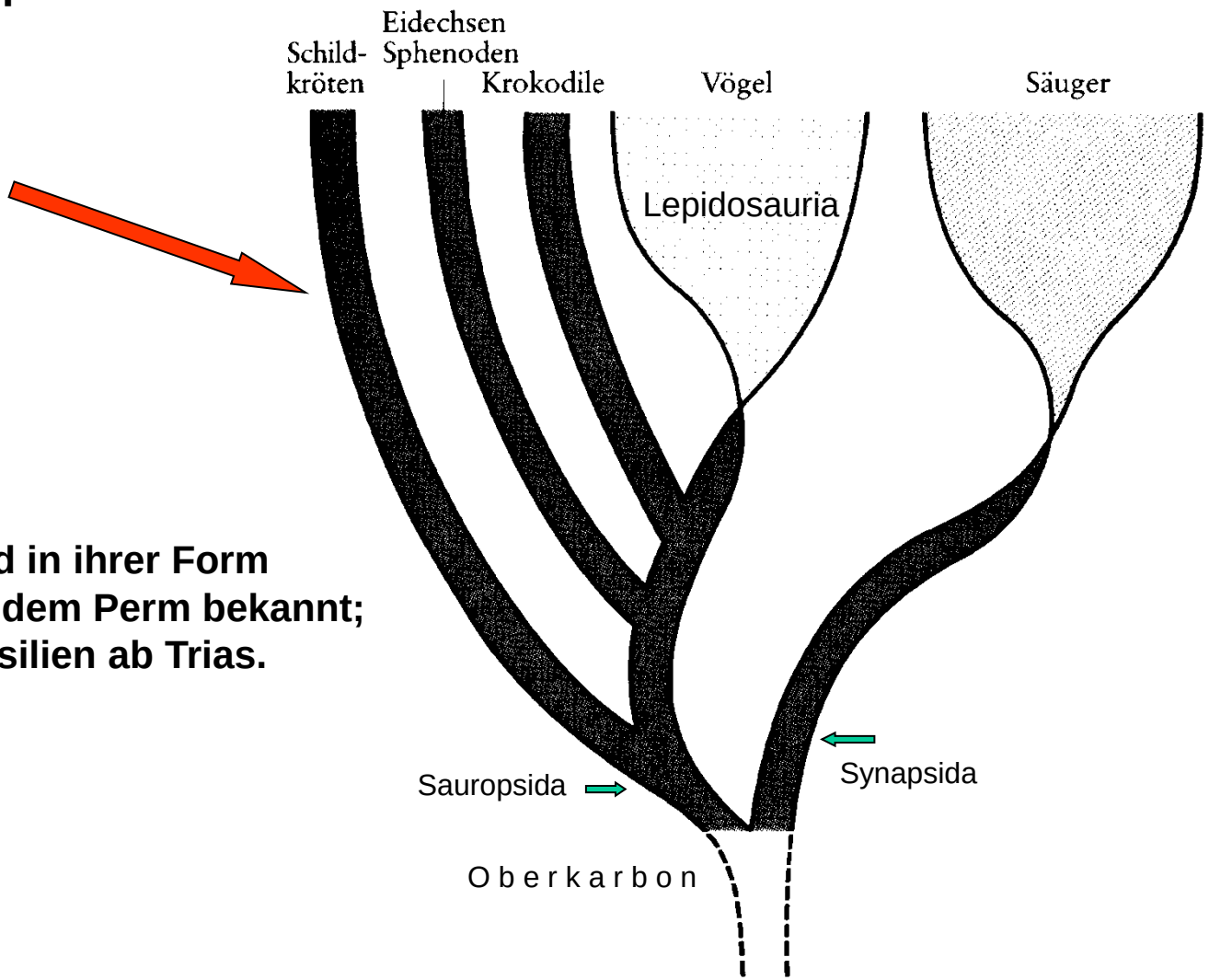
- bei den “Reptilien“ besteht noch ein teilweise gemischter Kreislauf;
- beginnende Trennung der Herzkammer; Spiralfalten bereits bei Lungenfischen und Amphibien
- Carotiden aus rechtem Aorten-bogen bei allen Sauropsiden: Reptilien & Vögeln.

Amniota

- **Die ersten Sauropsida**

Testudines

= Chelonia



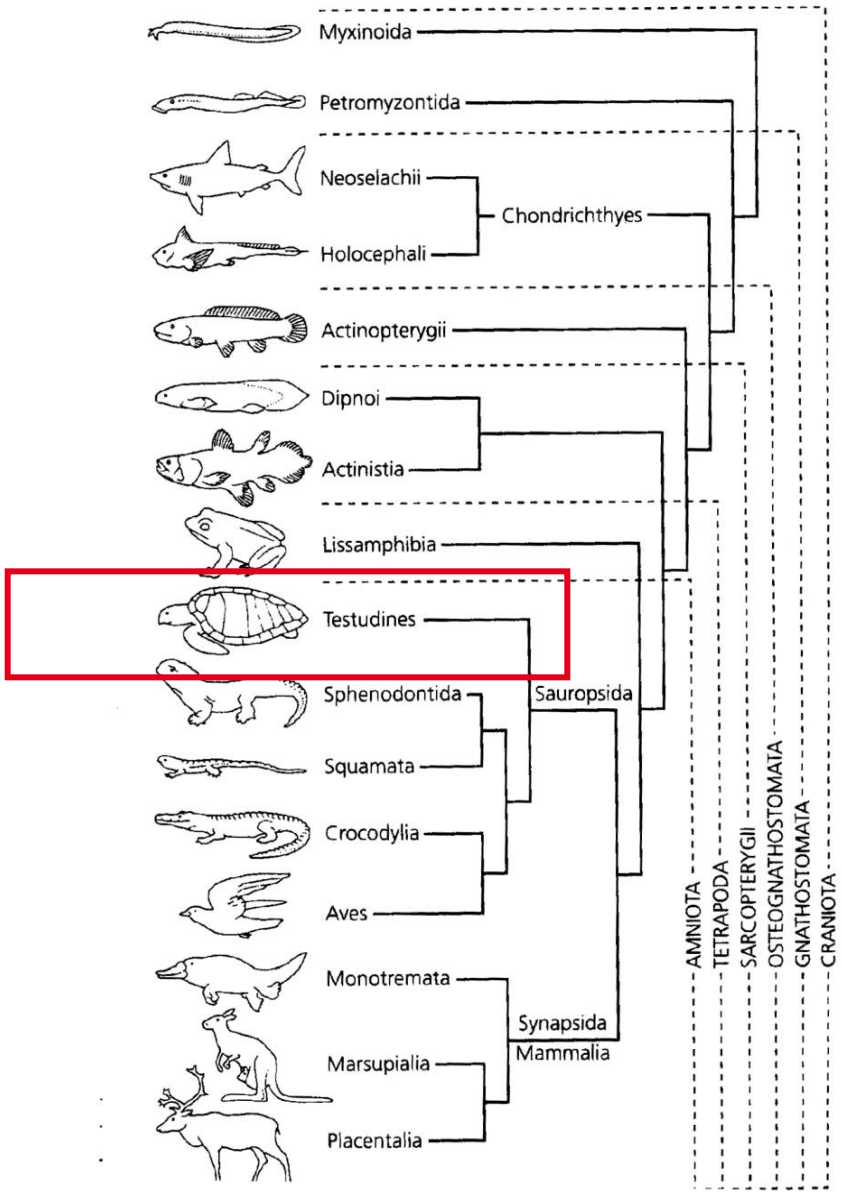
- **Schildkröten sind in ihrer Form (mit Panzer) seit dem Perm bekannt; vollständige Fossilien ab Trias.**

Amniota

- **Sauropsida:**

Testudines = Chelonia

- Die systematische Stellung wird weiterhin diskutiert.
- Wegen ihres geschlossenen Schläfendach werden sie an die Basis der Sauropsida gestellt (Anapsida).
- Alternativ könnte die Schläfen-öffnungen sekundär geschlossen sein.



Erste Begegnung mit Schildkröten – *„vorsintflutliche Tiere“*

„Noch habe ich den allermerkwürdigesten Zug der Naturgeschichte dieses Archipels nicht erwähnt; er besteht darin, daß von den verschiedenen Inseln in beträchtlichem Maße jede von einer verschiedenen Gruppe von Geschöpfen bewohnt wird.“
(CD, „*Beagle Journal*“ - 1839)
Darwins „antediluvian animals “

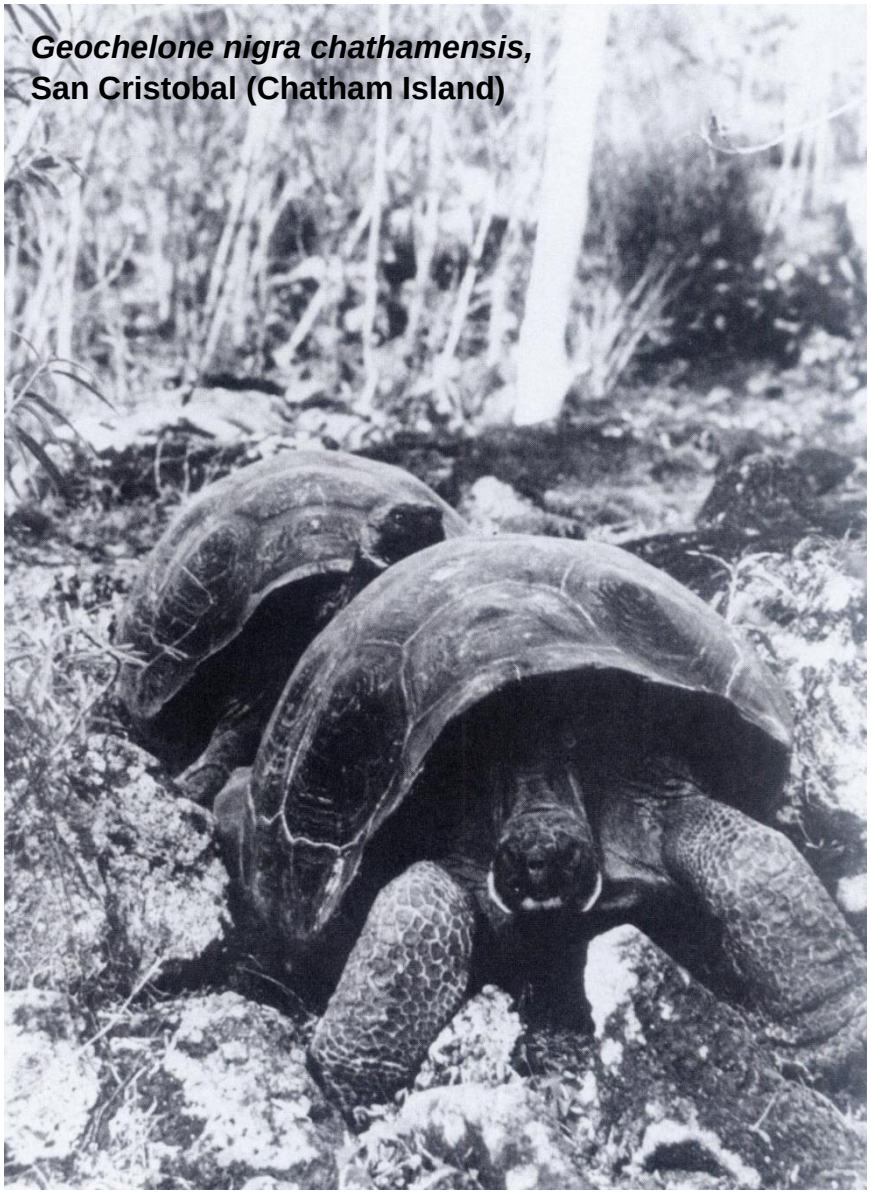
Riesenschildkröten auf einem kleinen Archipel

- ***Geochelone nigra* (Quoy and Gaimard, 1824) – *porteri* / Santa Cruz**
  = *Chelonoidis elephantopus (Harlan, 1827)*

span. „galápago“

***porteri* – Santa Cruz**

Elefantenschildkröten auf Galapagos

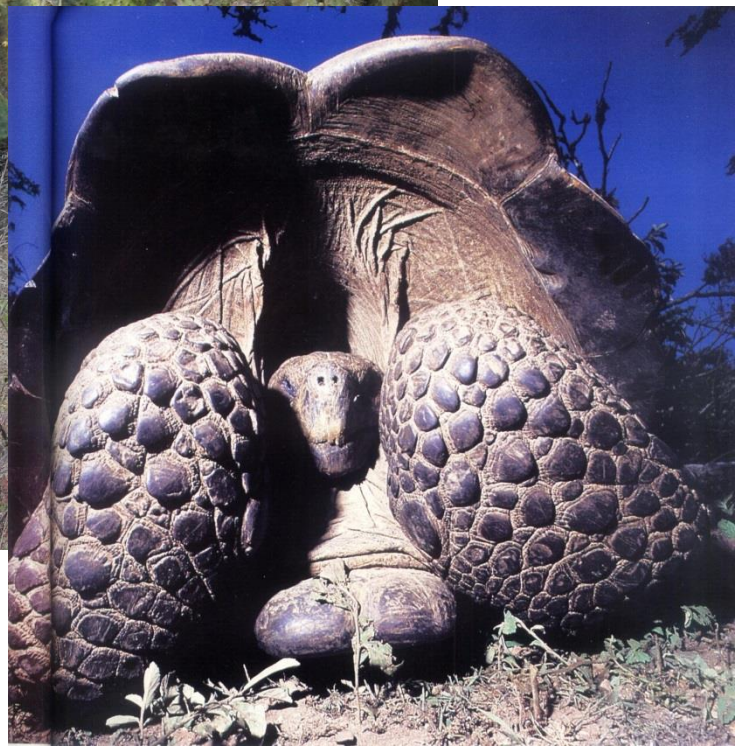


Geochelone nigra chathamensis,
San Cristobal (Chatham Island)

Geochelone nigra hoodensis,
Espanola (Hood Island)

Elefantenschildkröten auf Galapagos

- ***Feigenkakteen***



- ***„Sattel“-Schildkröte***

„*Lonesome George*“ von Pinta. Oder ~ 100 Jahre Einsamkeit

- ***Chelonoidis nigra abingdoni***

Santa Cruz – Nov. 2011

Abington / Pinta: ? – 1972 – 24. Juni 2012

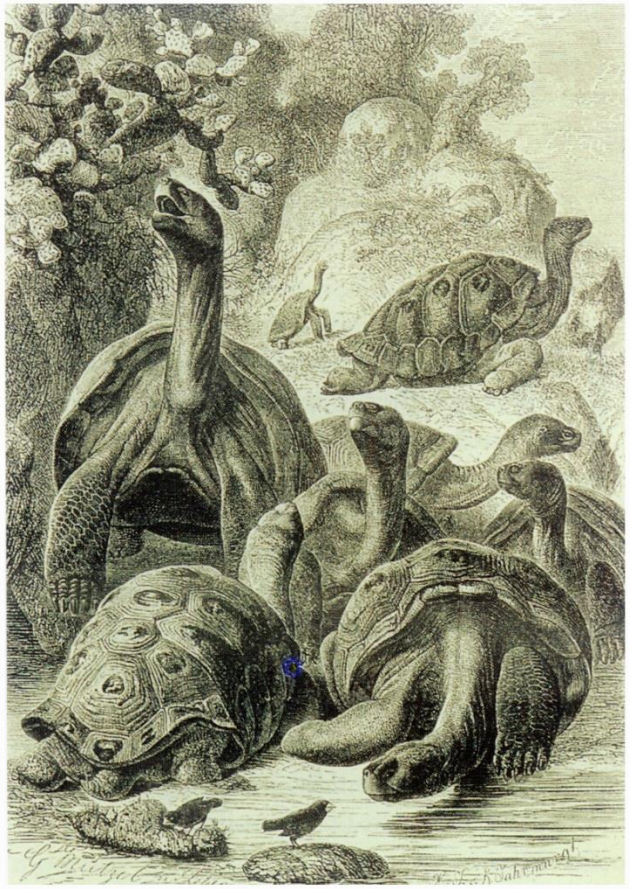
Darwins verspätete Erkenntnis

„Meine Aufmerksamkeit wurde zuerst dadurch auf diese Tatsache gelenkt, daß der Vize-Gouverneur Lawson erklärte, die Schildkröten von den verschiedenen Inseln seien untereinander verschieden, und er könne mit Sicherheit sagen, von welcher Insel irgendeine hergebracht sei.“

„Eine Zeitlang schenkte ich dieser Angabe nicht hinreichend Aufmerksamkeit und ich hatte bereits zum Teil die Sammlungen von zwei der Inseln untereinander gemengt.

Es wäre mir doch nicht im Traume eingefallen, daß ungefähr fünfzig oder sechzig Meilen voneinander entfernt liegende Inseln, die meisten in Sichtweite voneinander, aus genau denselben Gesteinen bestehend, in einem ganz gleichartigen Klima gelegen und nahezu zu derselben Höhe sich erhebend, verschiedene Bewohner haben sollten; wir werden aber sofort sehen, daß dies der Fall ist.“

(CD, „*Beagle Journal*“ - 1839)



Testudines

- **rezent 11 Familien, 80 Gattungen,**

  etwa 245 Arten

- **Schildkröten besiedeln in tropischen und gemäßigten Breiten sämtliche terrestrischen Lebensräume von Sumpfgebieten bis zu den Wüsten;**
- **neben semiaquatischen Formen gibt es zahlreiche voll aquatische Arten in Süßgewässern und im Meer.**
- **Schildkröten sind vor allem herbivor.**
- **Durch Verfolgung und / oder Lebensraumzerstörung sind viele Arten stark bedroht.**

Testudines

- **Merkmale**
  - keine Zähne, sondern Hornschnabel
  - kleiner sekundärer Gaumen, Reduktion von Schädelknochen

Schildkröten eingeteilt in Halsberger (Cryptodira) und Halswender (Pleurodira).

Sacalia bealei

Chelodina steindachneri

Testuides

- **Untergliederung in**

Pleurodira (Halswender)

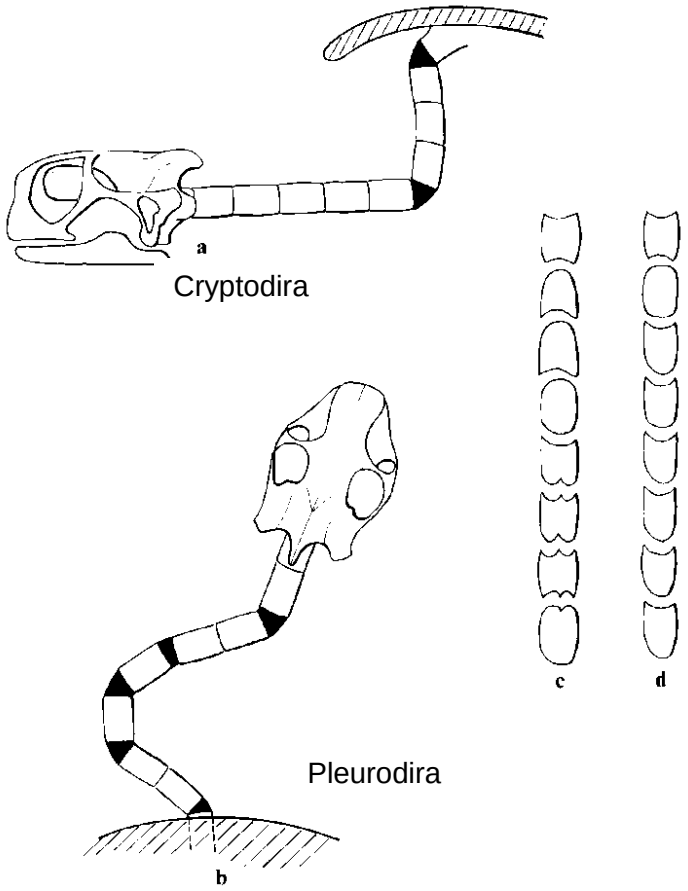
und

Cryptodira (Halsberger).

Bei den Pleurodira wird der Kopf nicht (Chelidae) oder nur zum Teil (Pelomedusidae) senkrecht unter den Panzer geborgen, sondern durch eine **S-förmige horizontale Krümmung** der Halswirbelsäule unter den Carapax geklappt.

Bei den Cryptodira wird der Kopf geradlinig unter den Panzer gezogen und die Halswirbelsäule **senkrecht S-förmig gekrümmt,** daher sind die Querfortsätze der Halswirbel schwach ausgebildet. Becken mit dem Panzer nur durch Bänder verbunden.

Cryptodira kommen mit Ausnahme von Australien in allen Erdteilen vor, und zwar in großer Diversität.



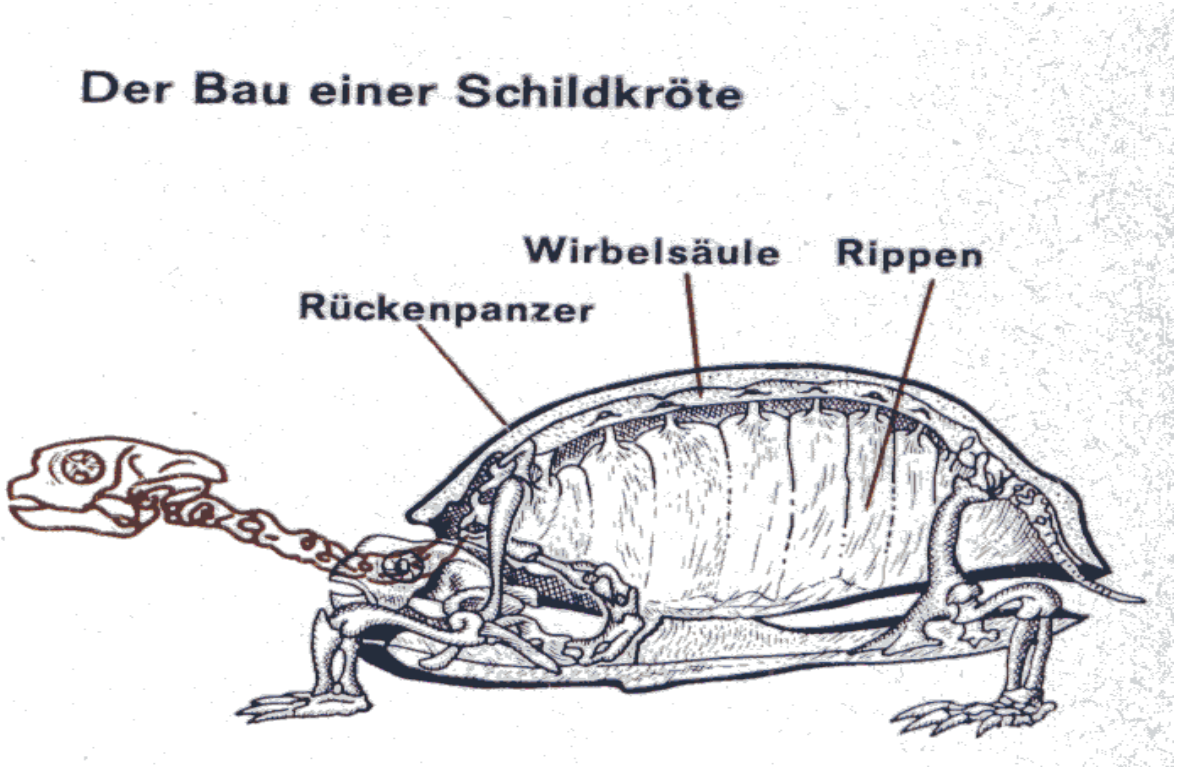
a = Cryptodira (Halsberger)

b = Pleurodira (Halswender)

c und d zwei Halswirbelsäulen von cryptodiren Schildkröten, um die Form der Gelenkung zwischen den Halswirbeln zu zeigen.

Testudines

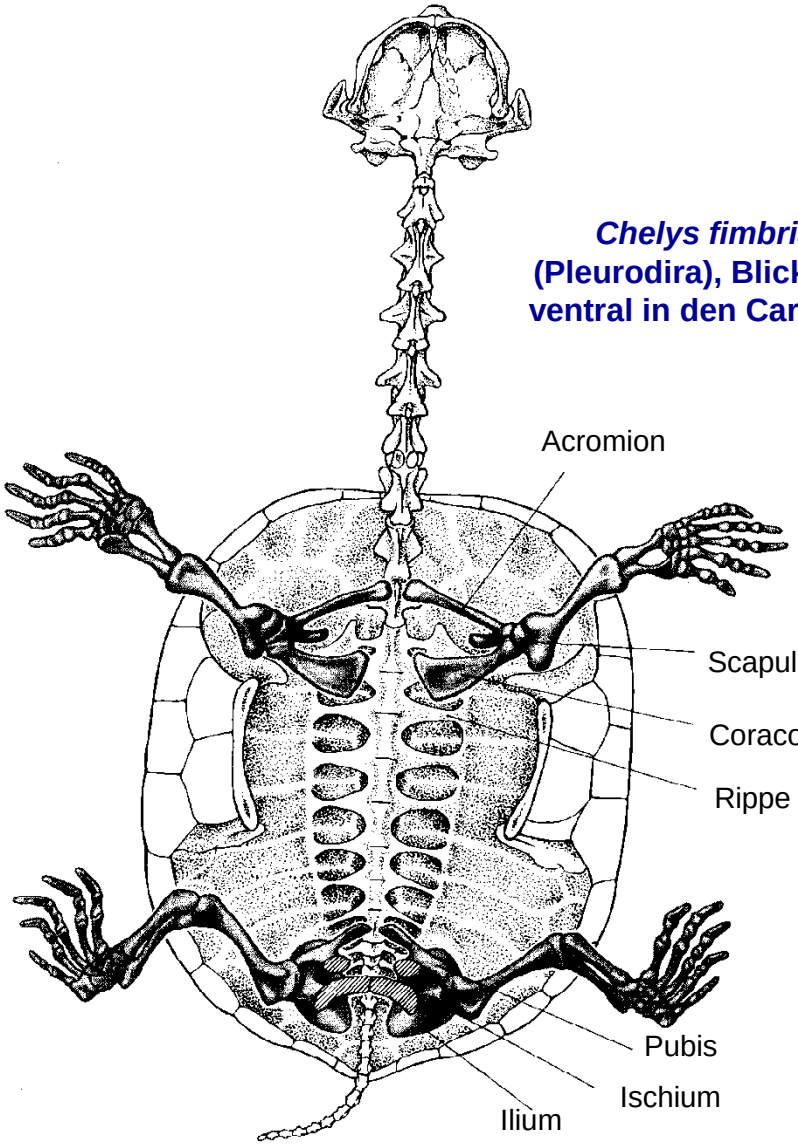
- Panzer (Carapax, Plastron aus Knochen (Hautknochen) und Hornschicht. Verwächst mit den Neuralfortsätzen der Wirbel und den Rippen.
- Extremitätengürtel hängen im Panzer, unter den Rippen
- Reduktion des Panzers bei Meeresschildkröten.



Testudines

Apomorphe Merkmale der Testudines:

- **Rücken- und Bauchpanzer aus zahlreichen Knochenplatten und weniger zahlreichen Hornschildern.**
- **Die Knochenplatten des Carapax sind Neuerwerbungen, die des Plastron gehen aus verbreiterten Bauchrippen und Hautknochenelementen des Schultergürtels hervor.**
- **Körper verkürzt, ca. ein Dutzend praesacrale Wirbel rückgebildet.**
- **Scapula mit langem Fortsatz (Acromium), liegt unter den Rippen.**
- **Phalangenzahl reduziert auf nie mehr als 2-3-3-5-3 (Grundmuster Amniota 2-3-4-5-3).**



***Chelys fimbriatus*, (Pleurodira), Blick von ventral in den Carapax**

Testudines

- **weitere apomorphe Merkmale beziehen sich auf den Schädel:**

- Zähne fehlen (bei Formen aus der Trias noch vorhanden), stattdessen Hornscheiden.

- Geschlossenes Munddach (Interpterygoidfenster, Gaumenlücken fehlen, Vomeres verwachsen).

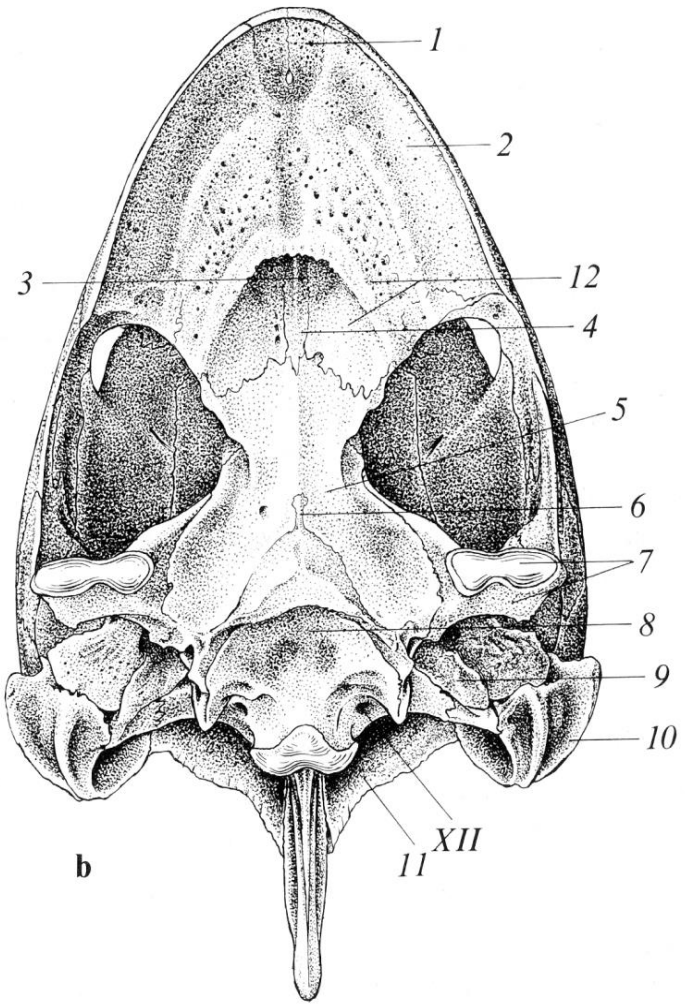
- Quadratum fest mit Neurocranium verwachsen.

- Parietalöffnung fehlt (mehrfach unabhängig bei Amniota).

- Unpaare Nasenöffnung am Schädel.

- Nasale und Lacrimale reduziert, Praefrontale stark vergrößert.

- Mehrere Knochenelemente des seitlichen Schädeldaches reduziert.



1 = Praemaxillare, 2 = Maxillare, 3 = Choane, 4 = Vomeres, 5 = Pterygoid, 6 = Basisphenoid, 7 = Quadratum, 8 = Basioccipitale, 9 =Opisthoticum, 10 = Squamosum, 12 = Palatinum

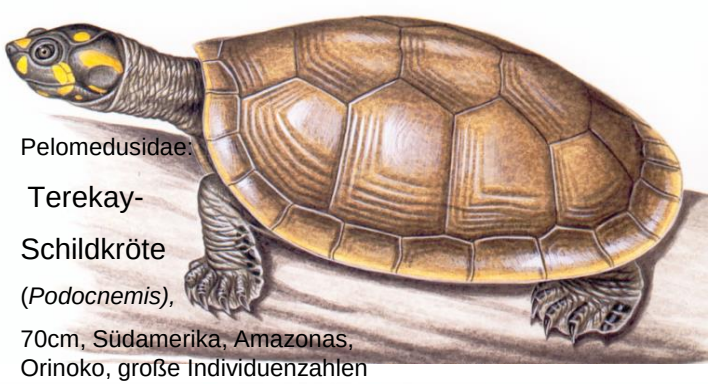
Testudines

- **Pleurodira (Halswender)**

Pelomedusidae (23 Arten) in Südamerika, Afrika und Madagaskar, z.B. *Pelomedusa subrufa*, PL 25cm, Afrika, Madagaskar, omnivor, Sommerruhe im Schlamm.

und

Chelidae (Schlangenhalsschildkröten) (45 Arten) in Südamerika und Australien. Z.B. *Chelys fimbriatus* (Mata-mata) PL 40cm, Kopf mit Schnorchel und Hautsegeln, Lauerjäger, reißt Rachen auf und saugt große Beute ein.



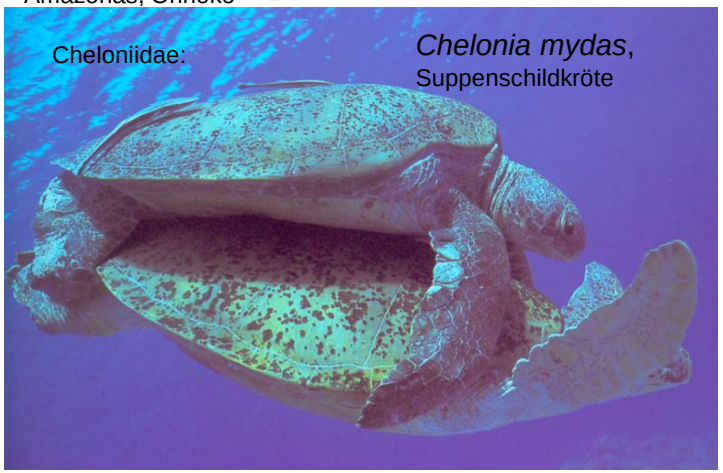
Pelomedusidae: Terekay-Schildkröte (*Podocnemis),* 70cm, Südamerika, Amazonas, Orinoko, große Individuenzahlen

- **Cryptodira (Halsberger)**

Cheloniidae (Suppenschildkröten, 6 Arten), weltweit in Tropen und Subtropen, Nistplätze an Sandstränden, weite Wanderungen zwischen Kontinenten; extrem gefährdet. Z.B. *Chelonia mydas*, PL bis 1,4m, auch Mittelmeer, ohne zu nisten.

Dermochelyidae (Lederschildkröten, 1 Art), *Dermochelys coriacea*, PL 2,5m, 1000kg, ursprünglicher Knochenpanzer zurückgebildet, neue mosaikartig angeordnete Knochenplättchen in lederartiger Haut, weltweit, außer Fortpflanzungszeit auch in kalten Meeren.

Chelidae: Rotkopf-Plattschildkröte, 18cm, Südamerika, Amazonas, Orinoko



Cheloniidae: *Chelonia mydas*, Suppenschildkröte

Testudines

- **Weitere Familien der Cryptodira** (Halsberger):

Chelydridae (Alligatorschildkröten, 3 Arten), mit großen Köpfen und stark reduziertem Plastron, langer Schwanz.

z.B. *Macrochlemys temminckii* (Geierschildkröte), PL 75cm, 90kg, Südstaaten USA. Am Grunde stehender Gewässer, lauert auf Beute, die durch wurmartigen Fortsatz auf Zungenoberseite angelockt wird.

Emydidae (Sumpfschildkröten, 110 Arten), holarktisch, in Südamerika auch südlich des Äquators.

z.B. *Emys orbicularis*, Europäische Sumpfschildkröte, PL 25cm, mittleres, südliches und nordöstliches Europa, im Westen vielfach nur allochthone Bestände. In klaren Seen, frisst Wirbellose und kleine Fische; stark bedroht.

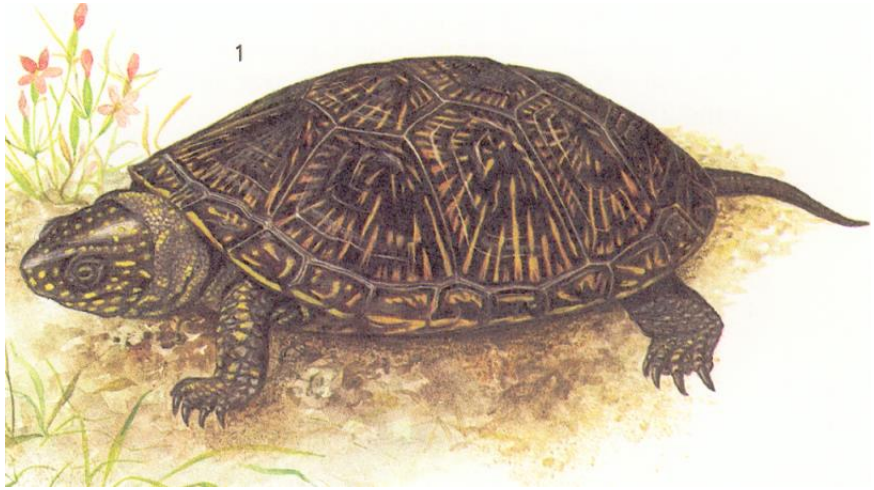
Trachemys scripta, Rotwangenschildkröte, im Osten der USA, zahlreich im Tierhandel.

Testudinidae (Landschildkröten, 43 Arten), weltweit ohne Australien, häufig in Trockengebieten.

z.B. *Testudo hermanni*, Griechische Landschildkröte, PL 20cm, in Südeuropa, Westasien und Nordafrika.

Macrochlemys temminckii (Geierschildkröte)

Emys orbicularis (Europäische Sumpfschildkröte)



Testudines

Testudinidae (Landschildkröten

T. gigantea, Seychellen-Riesenschildkröte, PL 1,2m, Aldabra-Atoll, noch 150 000 Individuen.

Chelonoides elephantopus, Galapagos-Riesenschildkröte, PL bis 1,4m, 250kg. Verschiedene Unterarten auf einzelnen Galapagos-Inseln; wenige Unterarten mit geringer Individuenzahl haben überlebt.

***Chelonoides elephantopus*,**
Galapagos-Riesenschildkröte

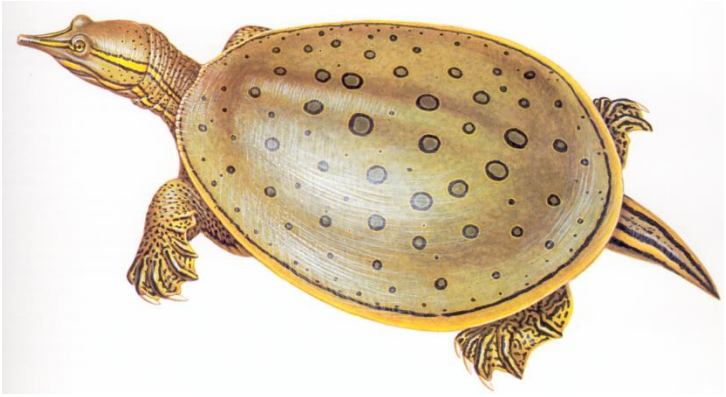
Weitere Familien der Cryptodira (Halsberger):

Dermatemydidae (Tabasco-Schildkröten, 1 Art), *Dermatemys mawii*, PL 40cm, Mittelamerika, in großen Flüssen, extrem aquatisch, kaum zu Bewegungen an Land befähigt.

Trionychidae (Weichschildkröten, 23 Arten), aquatisch, anstelle Hornplatten Lederhaut, periphere Knochenplatten des Carapax reduziert.

z.B. *Trionyx triunuis*, Afrikanische Weichschildkröte, PL 90cm, afrotropisch, gelangte aber bis in Mittelmeer und das südwestliche Anatolien.

Appalone spinifera, Dornrand-Weichschildkröte, Südöstliches Nordamerika.

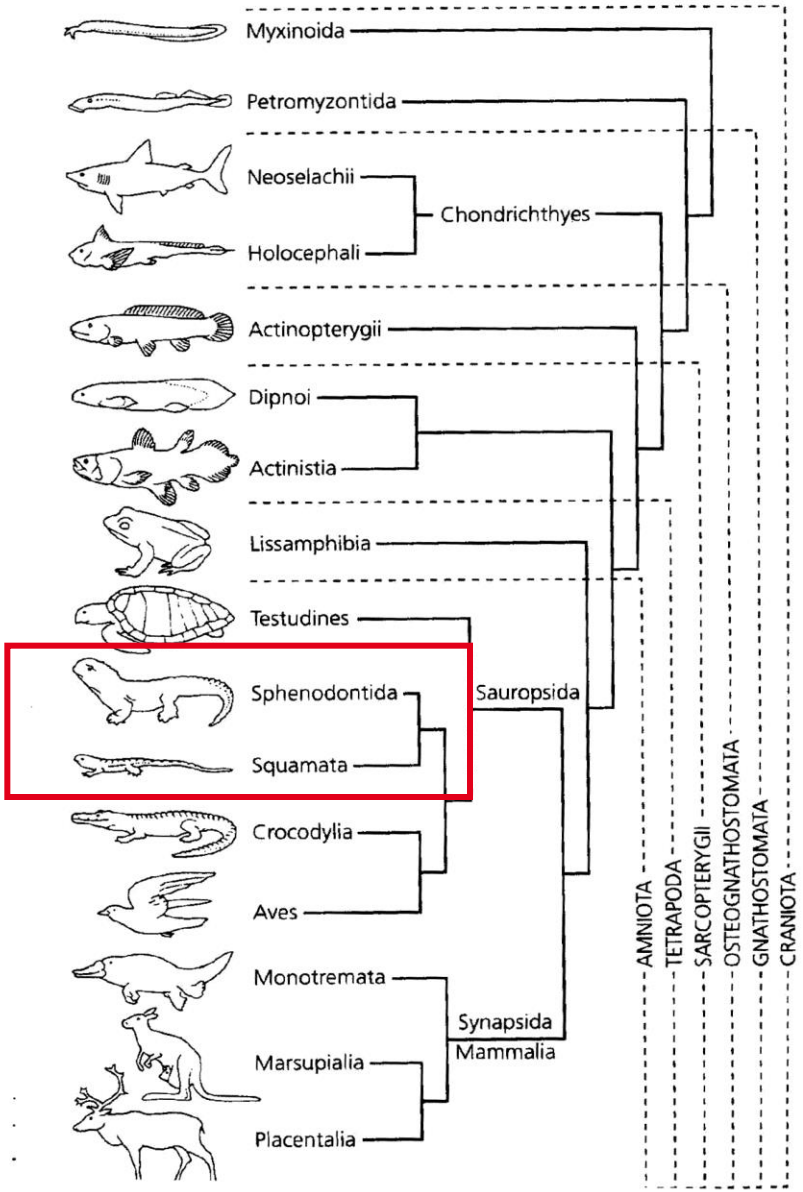


***Appalone spinifera*, Dornrand-Weichschildkröte,**

Amniota

A – Sauropsida:

- **Chelonia**
- **Lepidosauria:** Squamata + Sphenodontia (Rhynchocephalia)
- **Archosauria:** Crocodylia + Aves + (†"Dinosauria", †Pterosauria)

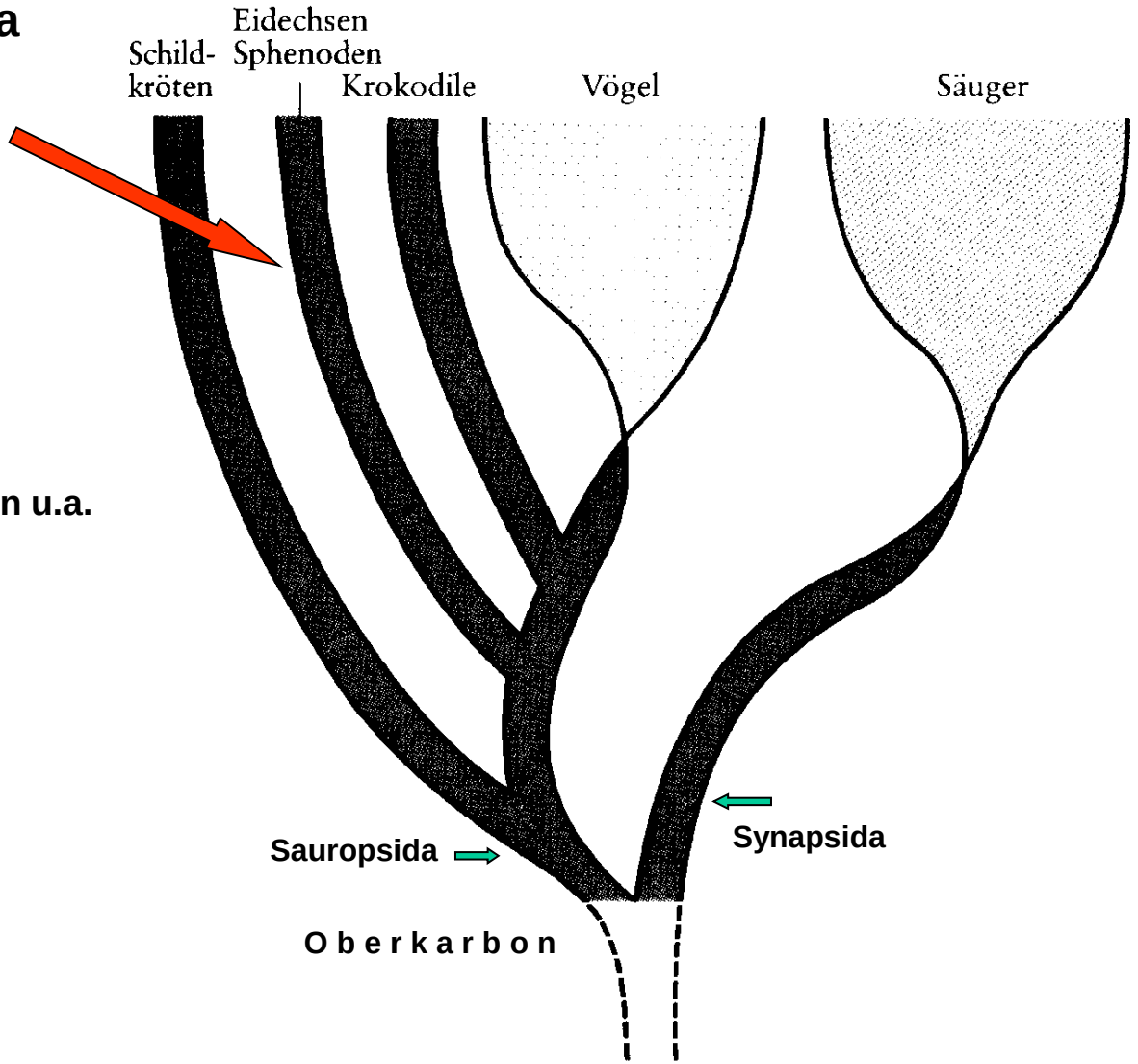


Sauropsida

- **diapside Lepidosauria**

  - **Sphenodontida**
    (Brückenechsen)
  - **Squamata**
    (Schuppenkriechtiere

    – Eidechsen, Schlangen u.a.

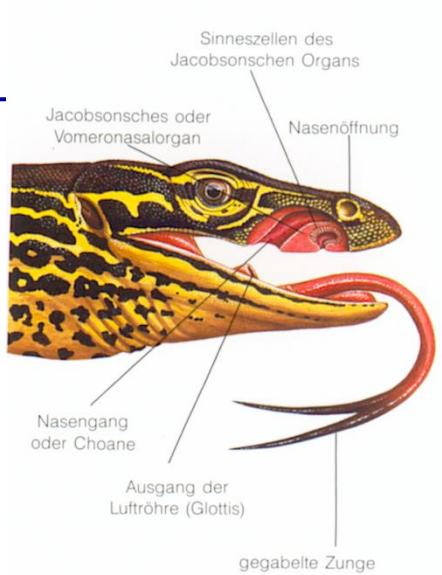


Sauropsida

- **Lepidosauria**
  - Kloakenspalte quer, Schwanzautotomie, distal gekerbte Zunge

    - Sphenodontia (Rhynchocephalia) – 2 Arten

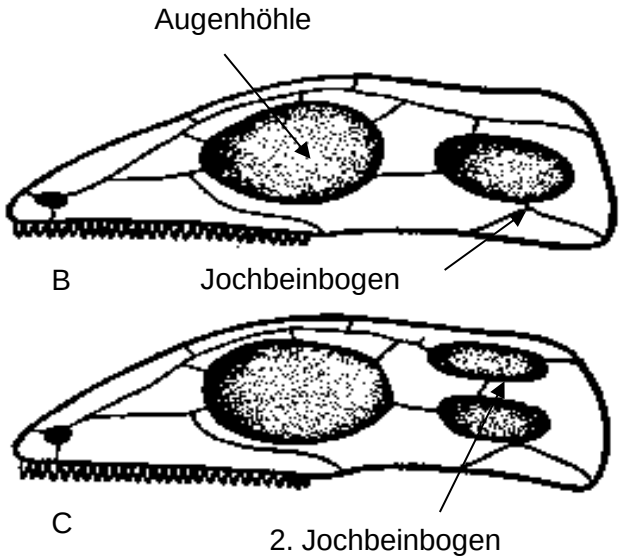
    - Squamata (Schuppenkriechtiere) – c. 6.000 Arten seit Trias bekannt, “lebendes Fossil



Sphenodon mit 2 Arten auf wenigen Inseln von Neuseeland.
Schädel diapsid, nicht kinetisch, einige primitive Merkmale wie Bauchrippen, gut ausgebildetes Parietalauge.

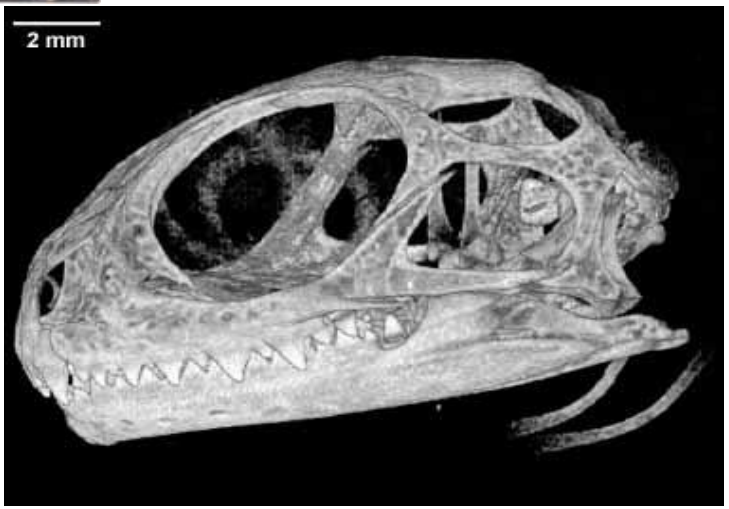
Sauropsida

- ***Sphenodon punctatus*, Brückenechse**



- **Sphenodon kann bis zu 80 cm groß werden**

B - Graphik eines Schädel eines säugerähnlichen Kopfes,
C - Graphik des Schädels von *Sphenodon*
D - Rekonstruktion eines embryonalen *Sphenodon*-Kopfes durch Computertomographie.



Sauropsida

- Sphenodontida

Sphenodon punctatus, *50cm, alte Männchen bis 75cm.*

Sphenondon guentheri *,* nur auf den Hauturu-Inseln, häufig als Unterart von *S. punctatus* aufgefasst, molekulare Daten scheinen Artabtrennung zu rechtfertigen.

Brückenechsen leben heute auf etwa 30 kleinen, meist schwer zugänglichen Inseln vor der Nordküste der neuseeländischen Hauptinsel. Sie teilen diese Inseln mit mehreren Arten von Sturmvögeln und benutzen die von ihnen gegrabenen Brutgänge.

Die Zahl der Tiere wird auf über 100.000 geschätzt. Territorial mit Kämpfen unter den Männchen. Nachtaktiv, leben von Wirbellosen, kleinen Wirbeltieren, auch Vögeln. Gelege in zugeschütteten Erdhöhlen werden von Weibchen bewacht. Brutzeit mit 12 – 15 Monate extrem lang.

Bedroht durch Ratten, die Junge fressen. Artenschutzprogramme sehen Ausrottung der Ratten vor, auf einigen Inseln schon erfolgreich.

Sphenodon punctatus, Männchen

Sauropsida

- **Squamata, Schuppenkriechtiere**

  - 9.671 Arten (Aug. 2014)
  - große Diversität in Form und Lebensweise.
  - Alle Squamata haben einen kinetischen Schädel, nur das obere Schläfenfenster ist vorhanden, bewegliches Quadratum (**Streptostylie**), und 2 Penes (**Hemipenis**); auch bei Weibchen wurden vor kurzem Hemiclitoris entdeckt (wechselseitige Begattung)
  - Die Squamata werden üblicherweise in 3 Ordnungen eingeteilt:
    1. Sauria (Echsen) ~ 5.700 Arten
    2. Serpentes (Schlangen) ~ 3.400 Arten
    3. Amphisbaenia (Doppelschleichen) ~ 180 spp.

Sauropsida - Streptostylie

- **Kennzeichnende Merkmale der Squamata:**

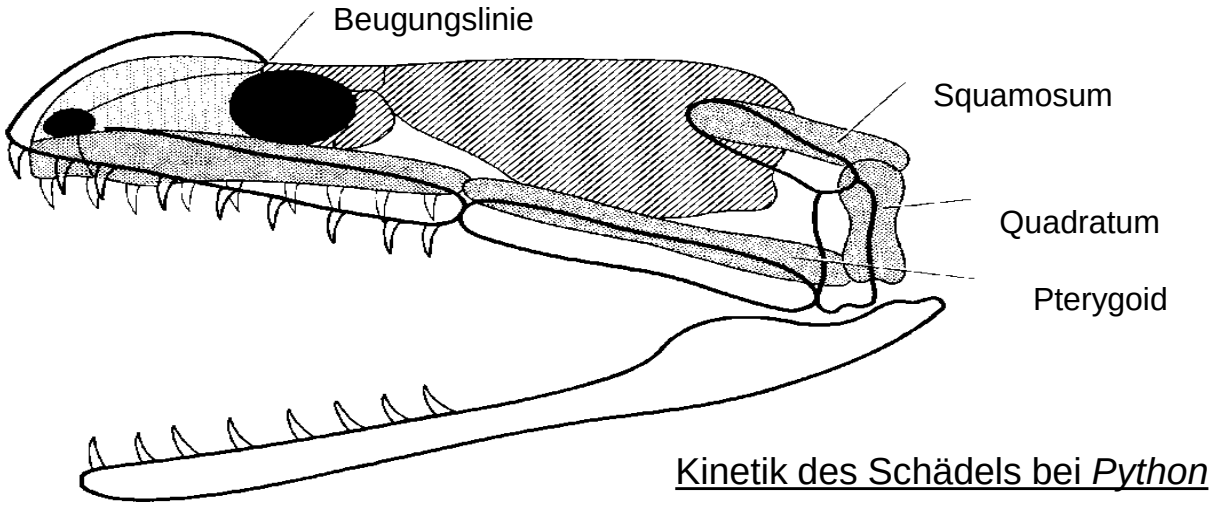
❖ **Verlust des Quadratojugale,** daher ist das untere Schläfenfenster nach unten offen

(Schlangen verlieren auch den oberen Schläfenbogen).

❖ **Verlust des Quadratojugale** ermöglicht bewegliche Befestigung des Quadratum und die Entwicklung eines kinetischen Schädels, der sog. Streptostylie;

hierbei wird ein occipitaler Schädelteil gegenüber einem maxillaren bewegt und der Mundspalt weiter geöffnet

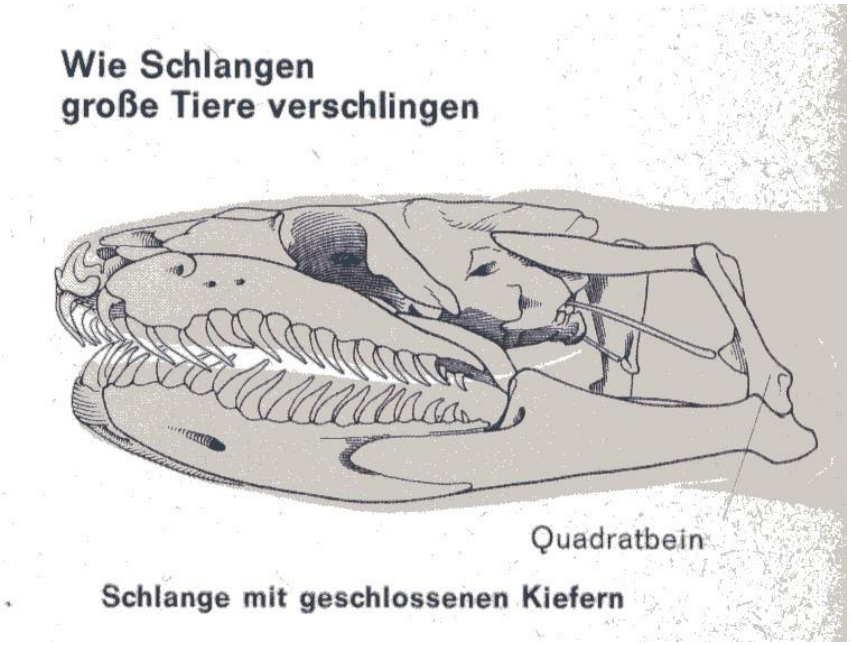
❖ **Streptostylie** – schon im Grundmuster der Tetrapoden angelegt.



Kinetik des Schädels bei *Python*

Sauropsida

- **Squamata,** Serpentes



Sauropsida

- **Squamata,** Serpentes

Der Giftapparat

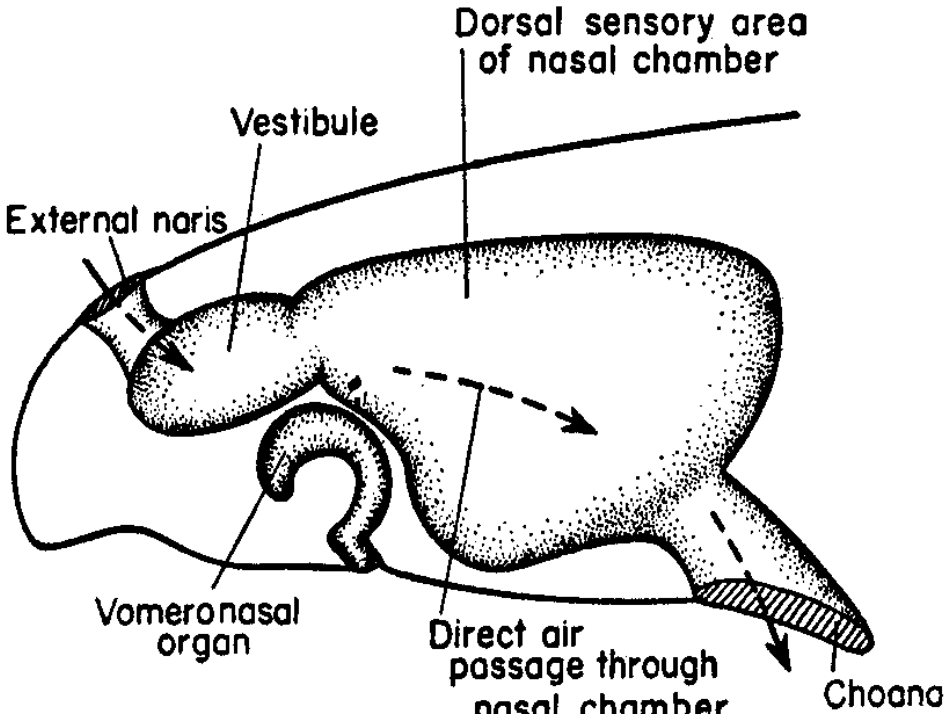
Der Giftzahn einer Grubenotter

Längsschnitt zeigt den Verlauf dieses Kanals von der Giftdrüse bis zu seiner Öffnung vor der Zahnspitze

Sauropsida

- **Squamata**

Vomeronasalorgan (Jacobson ‘sches Organ)

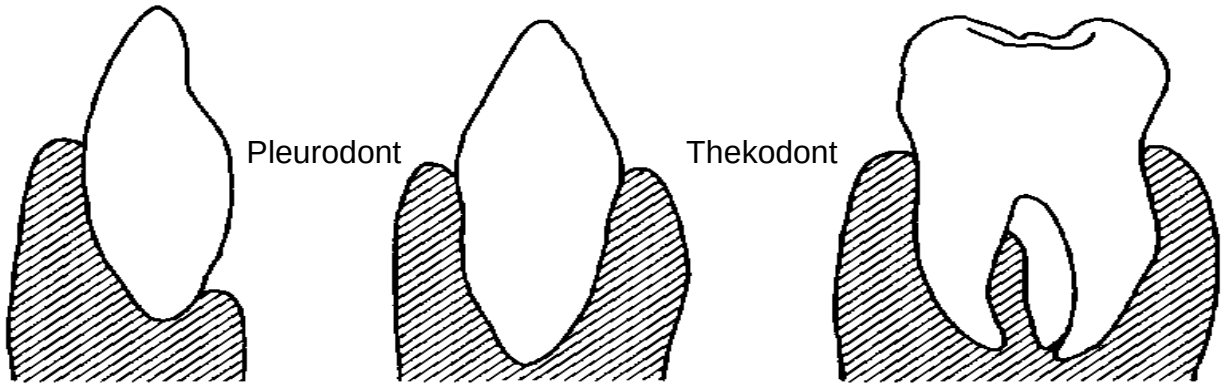


Weitere Merkmale der Squamata:

- Besitz **paariger Hemipenes**; miniaturisierte entsprechende Organe (Hemiclitores) kommen bei Weibchen vor.
- **Befestigung der Zähne** zumeist pleurodont (an der Innenseite der Kiefer befestigt).

Monophylie der Squamata ist durch 74 Autapomorphien begründet;

- die wichtigsten sind die **Streptostylie** und die **paarigen Kopulationsorgane**.



Sauropsida

- **Squamata – eine komplexe und sehr diverse Gruppe**
  - vorwiegend mittelgroße Formen

    die kleinste Echse: Madagaskar-Chamäleon *Brookesia minima* mit 30mm Gesamtlänge

    die größte Form: Komodo-Waran *Varanus komodoensis* mit 3,10m und 250 kg

    die größte und schwerste Schlange: *Eunectes murinus*, die Grüne Anakonda, mit 9,50m,

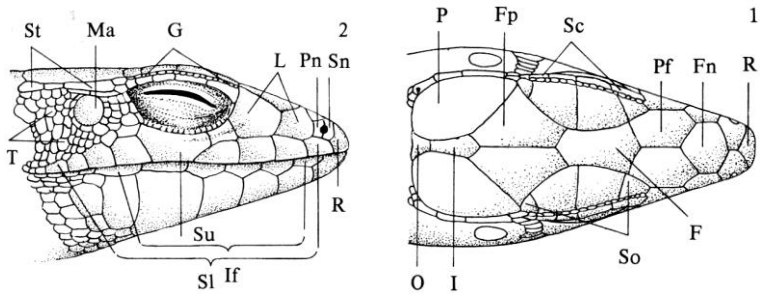
    (auch Netzpython, *Python reticulatus*).
  - Squamaten besiedeln außer der Antarktis alle Kontinente, fehlen nur an Polen / extremen Höhen
  - sind primär terrestrisch, haben aber aboreale, aquatische und subterrane Formen hervorgebracht; (das Gleitfliegen ist einigen Arten auch in Ansätzen gelungen)
  - Viele Arten durch Habitatverlust und/oder durch direkte Nachstellungen sehr stark bedroht.

Kommodo-Warane, die größten und schwersten Squamata

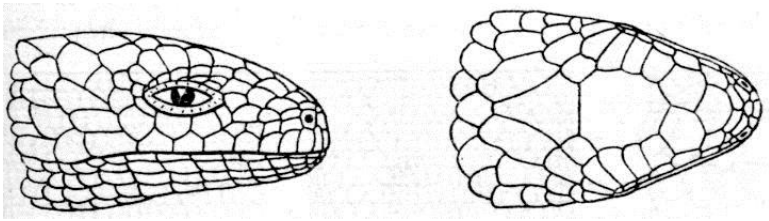
Einheimische Reptilia - (Kriechtiere)

Kennzeichen:
-Trockene Haut mit Hornschuppen und Krallen an den Zehen

1. Echsen (Sauria): Eidechsen (Lacertidae) und Schleichen (Anguidae)
- Augen mit beweglichen Lidern



Kopf einer Eidechse



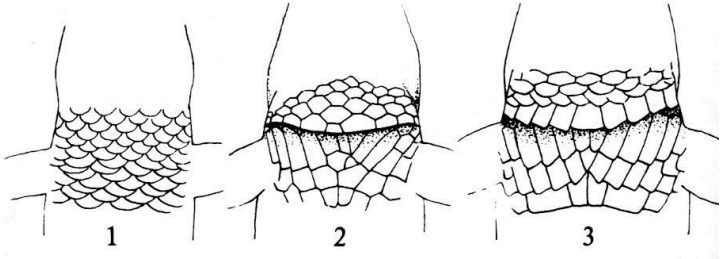
Kopf einer Blindschleiche

Smaragdeidechse
(*Lacerta viridis*)

Blindschleiche
(*Anguis fragilis*)

Reptilia - (Kriechtiere)

Eidechsen (Lacertidae):

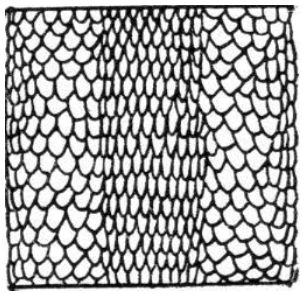


Halsband: durch vergrößerte Schuppen gebildete Hautfalte an der Kehle.
1. ohne Halsband. 2. glattes Halsband. 3. gezähntes Halsband.

Gezähntes Halsband einer Zauneidechse

Zauneidechse (*Lacerta agilis*)

- mittelgroße Eidechse (bis 11 cm) mit gedrungenem Körper. Färbung sehr variabel von grün bis braun
- charakteristisches Band schmaler Schuppenreihen (8-14) auf der Rückenmitte, das i. d. R. dunkel gefärbt ist



Rückenbeschuppung einer Zauneidechse.

Zauneidechse (*Lacerta agilis*). Links: Jungtier. Rechts: Männchen (grün) und Weibchen (braun).

Reptilia - (Kriechtiere)

Schleichen (Anguidae): Blindschleiche (*Anguis fragilis*)

Unterschiede zu Schlangen :
- bewegliche Augenlider, Unterseite klein beschuppt (keine Bauchschienen), Schwanz kann wie bei Eidechsen bei Gefahr abgeworfen werden (Autotomie)

Blindschleiche (*Anguis fragilis*). Links Adulttier. Rechts: Jungtier.

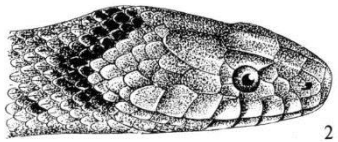
Reptilia - (Kriechtiere)

Schlangen (Serpentes):

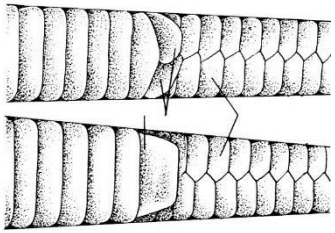
Kennzeichen :
- Augenlider verwachsen und somit unbeweglich (“starrer Blick”)
- Bauchseite nur mit 1 Längsreihe breiter Schuppen (“Schienen”)
- in Deutschland nur 2 Familien: Nattern (Colubridae) und Ottern (Viperidae)

Nattern (Colubridae):
- Kopf mit großen symmetrisch angeordneten Schildern
- Pupille rund
- Analschild fast immer geteilt

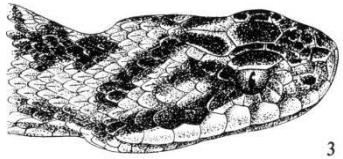
Ottern (Viperidae):
- Kopf mit vielen kleinen unregelmäßig angeordneten Schildern
- Pupille senkrecht
- Analschild ungeteilt



Kopf einer Natter.



Unterseite mit Schienen und Analschild.
Oben: Colubridae, geteiltes Analschild
Unten: Viperidae, ungeteiltes Analschild



Kopf einer Otter.

Reptilia - (Kriechtiere)

Schlangen (Serpentes): Nattern (Colubridae) - Ringelnatter (*Natrix natrix*)

Kennzeichen :
- heller halbmondförmiger Fleck an den Kopfhinterseiten
- Schuppen stark gekielt (Gattung *Natrix*, Wassernattern)

Ringelnatter (*Natrix natrix*). Links Adulttier. Rechts unten: Totstellreflex.

Schlangen (Serpentes): Nattern (Colubridae) –

1. Würfelnatter (*Natrix tesselata*)

Kennzeichen :

- deutlich vom Rumpf abgesetzen Kopf, Nasenlöcher und Augen nach oben gerichtet
- Schuppen stark gekielt (Gattung *Natrix*, Wassernattern)

2. Schling -oder Glattnatter (*Coronella austriaca*)

-Glatte Schuppen, Kopf kaum von Körper abgesetzt, kleine Schlange max. 70 cm

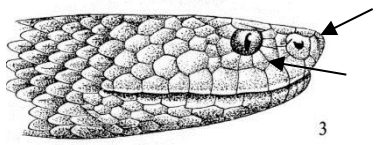
Würfelnatter (*Natrix tesselata*).

Coronella austriaca

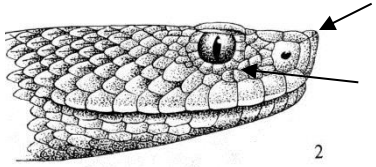
Schlangen (Serpentes): Ottern (Viperidae) - Kreuzotter (*Vipera berus*)

Kennzeichen :
- mindestens 3 große Schilder auf der Kopfoberseite,
- im Unterschied zur Aspisviper Schnauze nicht hochgebogen und nur eine Schuppenreihe zwischen Auge und Oberlippenschildern

Kreuzotter (*Vipera berus)*. Unterschiedliche Farbvarianten.



Kopf der Kreuzotter:
- Schnauze gerade
- 1 Schuppenreihe zw. Auge und Oberlippenschilder



Kopf der Aspisviper:
- Schnauzen hochgebogen
- 2 Schuppenreihen zw. Auge und Oberlippenschildern

3. Ordnung Squamata: Amphisbaenia (Doppelschleichen) - 188 Arten

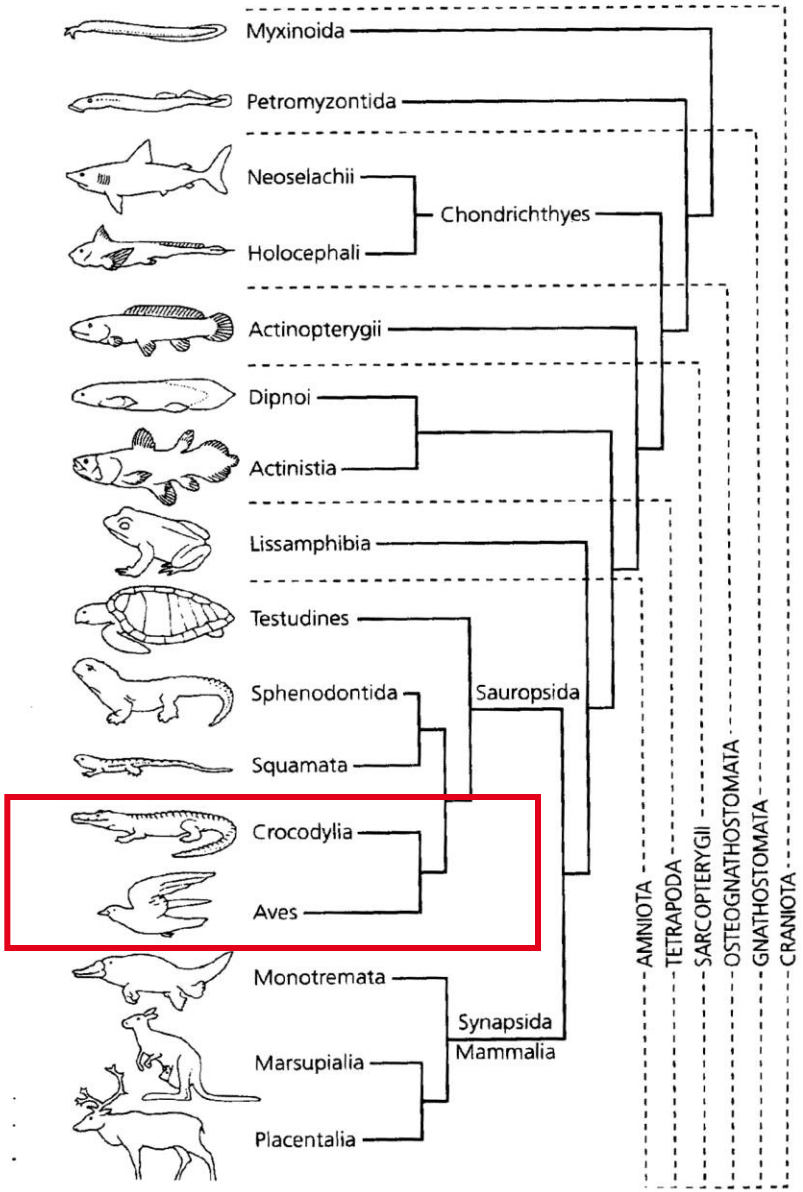
Bipes biporus

Blanus cinerus

Amniota

A – Sauropsida:

- **Chelonia**
- **Lepidosauria:** Squamata + Sphenodontia (Rhynchocephalia)
- **Archosauria:** Crocodylia + Aves + (†"Dinosauria", †Pterosauria)



Amniota

- **Archomorphosauria**

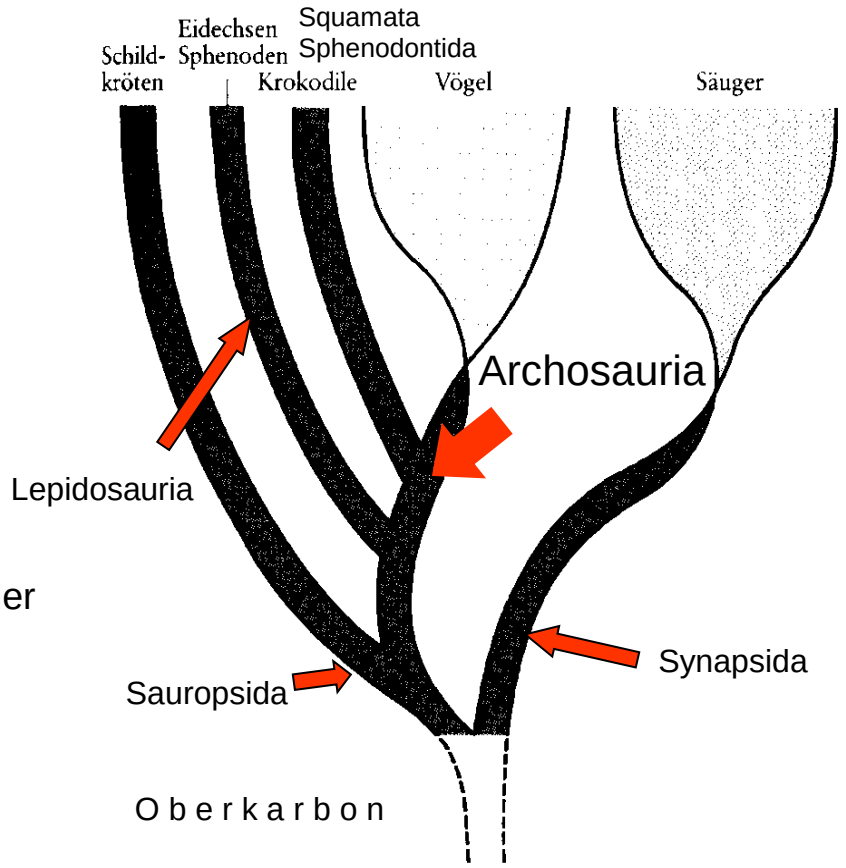
Merkmale der Archomorphosauria sind thekodonte Zähne, Fehlen des Sternum, ein intertarsales Gelenk (entweder mesotarsal oder crurotarsal = krokodiloid)

- umfassen die

❖ Archosauria - rezente Krokodile & Vögel

sowie enorm erfolgreiche fossile Gruppen:

❖ in der Trias mit den Thecodontia (heute als paraphyletisch angesehen) und im Jura und der Kreide die Dinosauria



Sauropsida

Die erste Phase der Evolution der Sauropsida im Karbon machte diese Formen zu den dominierenden Landwirbeltieren.

Das gesamte Mesozoikum, die zweite Phase ihrer Evolution, war ihre Blütezeit. Dabei wurde die größte morphologische und systematische Vielfalt in der Trias erreicht.

Jura und Kreide waren die Zeitalter der Dinosauria, der dominierenden Wirbeltiergruppe, die in der Erdgeschichte am längsten lebte. Mit ihrem Aussterben ging das Zeitalter der Reptilien zu Ende. Hierdurch wurde der Erfolg der Säugetiere ermöglicht.

Von den Reptilien überlebten nur Krokodile, Schildkröten, Brückenechsen und Schuppenkriechtiere, deren Nachkommen die heutige Reptilienfauna bilden.

Aus einem Untertaxon der Dinosauria entwickelten sich die höchst erfolgreichen Vögel.

***Tyrannosaurus rex,* Oberkreide, 6m hoch, mit den typischen Schädelmerkmalen der Archosauria**

Sauropsida

- Plattstirnkaiman *Paleosuchus palpebrosus*

Sauropsida

Crocodilus niloticus

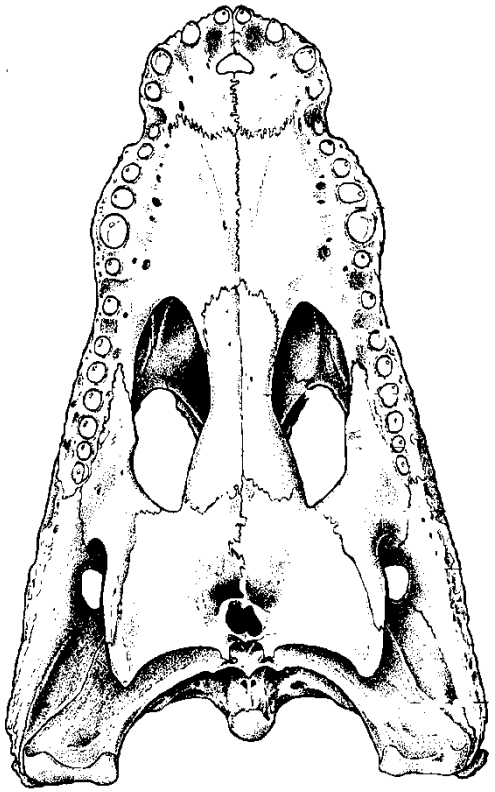
- **Archosauria: Crocodylia:**
- 25 Arten in 3 Familien:
  Crocodylidae (echte Krokodile)
  Alligatoridae: Alligatoren & Kaimane
  Gavialidae: Gaviale

Gavialis gangeticus

Alligator mississippiensis

Sauropsida

- **Crocodylia, Krokodile**
  - neben den Vögeln die einzigen überlebenden Archosauria. Ihre Geschichte kann anhand reichen Fossilmaterials bis in die mittlere Trias zurückverfolgt werden.
  - Sie haben mindestens drei Radiationen durchgemacht; die rezenten Krokodile entstammen der letzten Radiation und sind seit der oberen Kreide bekannt.
  - Die Monophylie der Gruppe steht außer Frage



Krokodilschädel von basal, sekundärer Gaumen

Autapomorphien:

- sekundäre, mit Hilfe der Pterygoidea gebildete Gaumen,
- die senkrechte Pupille
- ein spezifisches Gelenk (zwischen Astragalus und Calcaneus)

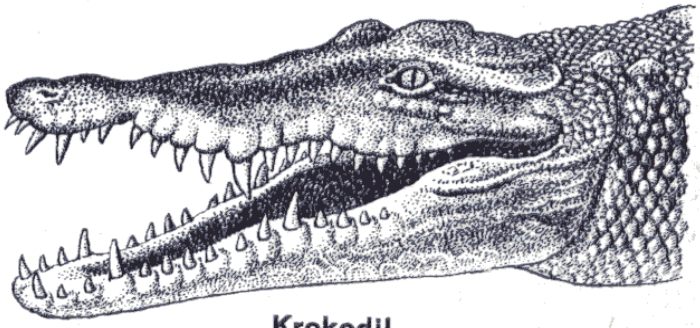
- Hautpanzerung (Hautknochen) = Panzerechsen und einen verfestigten (nicht kinetischen, flachen Schädel mit 2 Schläfenöffnungen aus (**Diapsida**)

- ein sekundärer Gaumen zusammen mit einen Hautsegel ermöglicht es den Krokodilen im Wasser mit vollem Maul zu atmen, nur wenn die Nasenöffnung über dem Wasser liegt.

Sauropsida

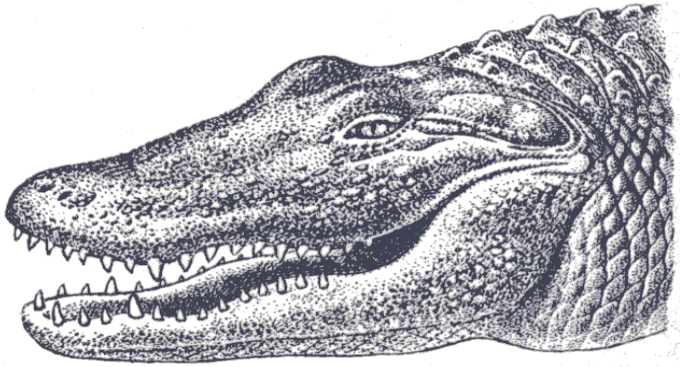
- **Krokodil oder Alligator ?**

- Krokodil: 4. Unterkieferzahn von außen sichtbar, liegt in Ausschnitt der Oberkiefers
- Alligator: alternieren die Ober- und Unterkieferzähne, 4. Unterkieferzahn von außen nicht sichtbar



Krokodil

Der Kopf des Krokodils ist schlanker als der des Alligators, die Zähne des Ober- und Unterkiefers greifen ineinander. Auch das Krokodil hat verlängerte Zähne im Unterkiefer. Sie stehen etwas schräg, und der vierte große Zahn fügt sich nur in eine Kerbe des Oberkieferrandes ein; daher kann man ihn auch bei geschlossenem Maul von außen deutlich erkennen.



Alligator

Am einfachsten kann man einen Alligator von einem Krokodil unterscheiden, wenn man sich den Kopf ansieht. Der Alligator hat eine stumpfere Schnauze als das Krokodil, seine obere Zahnreihe greift über die untere; der vierte Zahn im Unterkiefer ist vergrößert, da er jedoch in eine entsprechende Grube des Oberkiefers paßt, ist er bei geschlossenem Maul verborgen.

Sauropsida

Crocodylia, Krokodile

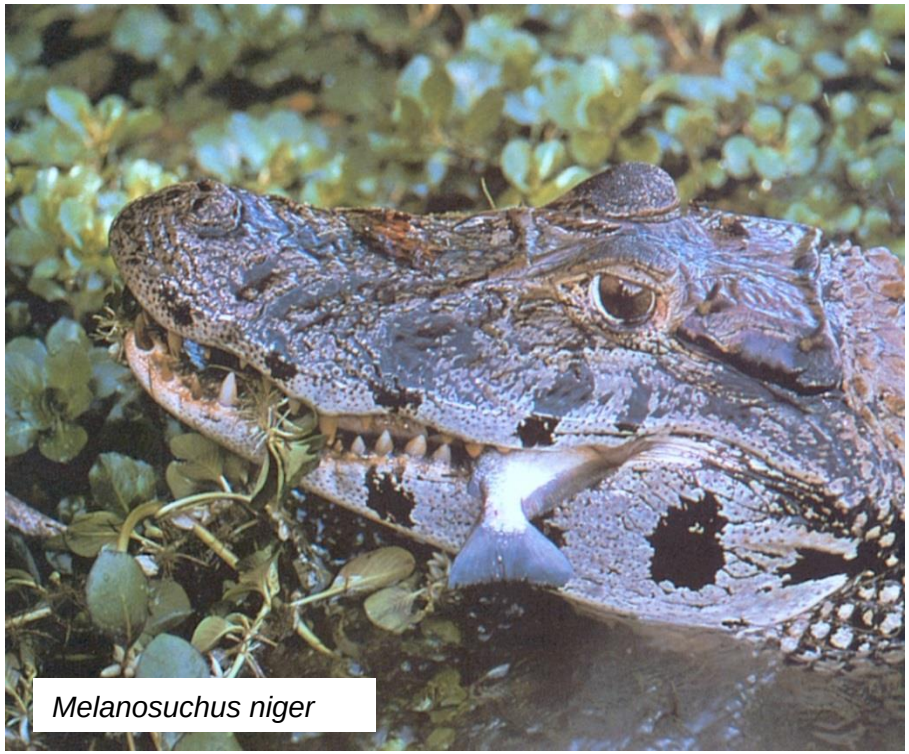
- **Alligatoridae, Alligatoren und Kaimane mit 8 Arten.**
- Unterkieferzähne passen in Gruben des Oberkiefers und sind bei geschlossenem Maul daher nicht sichtbar.
- Zumeist Bewohner größerer Flüsse, Seen und Lagunen, auch im Brackwasser.

z.B. *Alligator mississippiensis*, Mississippi-Alligator, Hechtalligator, GL bis 4m, Ebenen der südöstlichen USA, dringt in Gebiete mit Winterfrost vor.

***Melanosuchus niger*, Mohrenkaiman,** bis über 5m GL, größter Alligator, Amazonasgebiet bis Guayana, ganz besonders durch Jagd beeinträchtigt, da ventral keine Osteodermen.

- **Crocodylidae, Echte Krokodile, mit 13 Arten.**
- Neue Welt von Südmexiko bis zum Orinoko, fast ganz Afrika und vom Süd-Iran über Indien bis nach Neuguinea und Nordaustralien.
- Alle Krokodile haben eine Kerbe im Oberkiefer, in die der 4. Unterkieferzahn hineinpasst, so daß dieser auch bei geschlossenem Maul sichtbar bleibt.
- Krokodile besiedeln meist größere Flusssysteme, eine Art lebt auch im Meer.

Alligator mississippiensis



Melanosuchus niger

Sauropsida

- Alligatoridae, Alligatoren und Kaimane

  8 Arten

- Crocodylidae, Echte Krokodile

  13 Arten

z.B. *Crocodylus niloticus*, Nilkrokodil, GL bis 6,5m. Flusskrokodil Afrikas und Madagaskars. Auch Predator des Menschen. Durch starke Bejagung zurückgegangen, jedoch haben sich heute die Bestände wieder vermehrt.

Kleine Reliktpopulationen von nur 2m langen Tieren in und am Südrand der Sahara. Im alten Ägypten göttlich verehrt.

***C. porosus*, Leistenkrokodil,** GL über 9m und bis zu 1000kg Gewicht, Indien bis Australien, bewohnt bevorzugt Flußästuare und geht auch ins Meer. Sehr gefährlich für den Menschen.

- Gavialidae, Gaviale **- 4 Arten.**

Schmale Kiefer, spezialisiert auf den Fischfang.

Indien, Südostasien.

z.B. *Gavialis gangeticus*, Gangesgavial, GL bis 6,5m. Am stärksten aquatisch und auf Fischfang spezialisiertes Krokodil mit relativ schwachen Gliedmaßen und schnabelartigem Maul mit spitzen Zähnen.

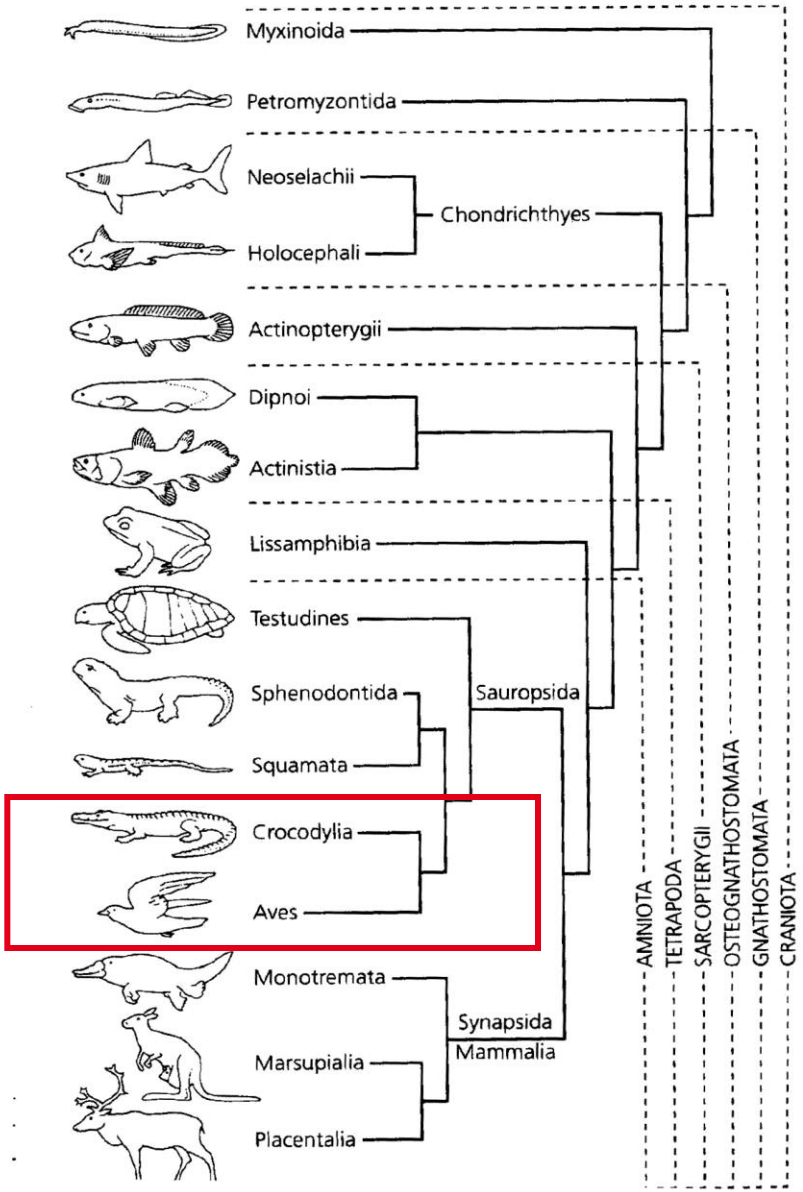
Crocodylus niloticus

Gavialis gangeticus

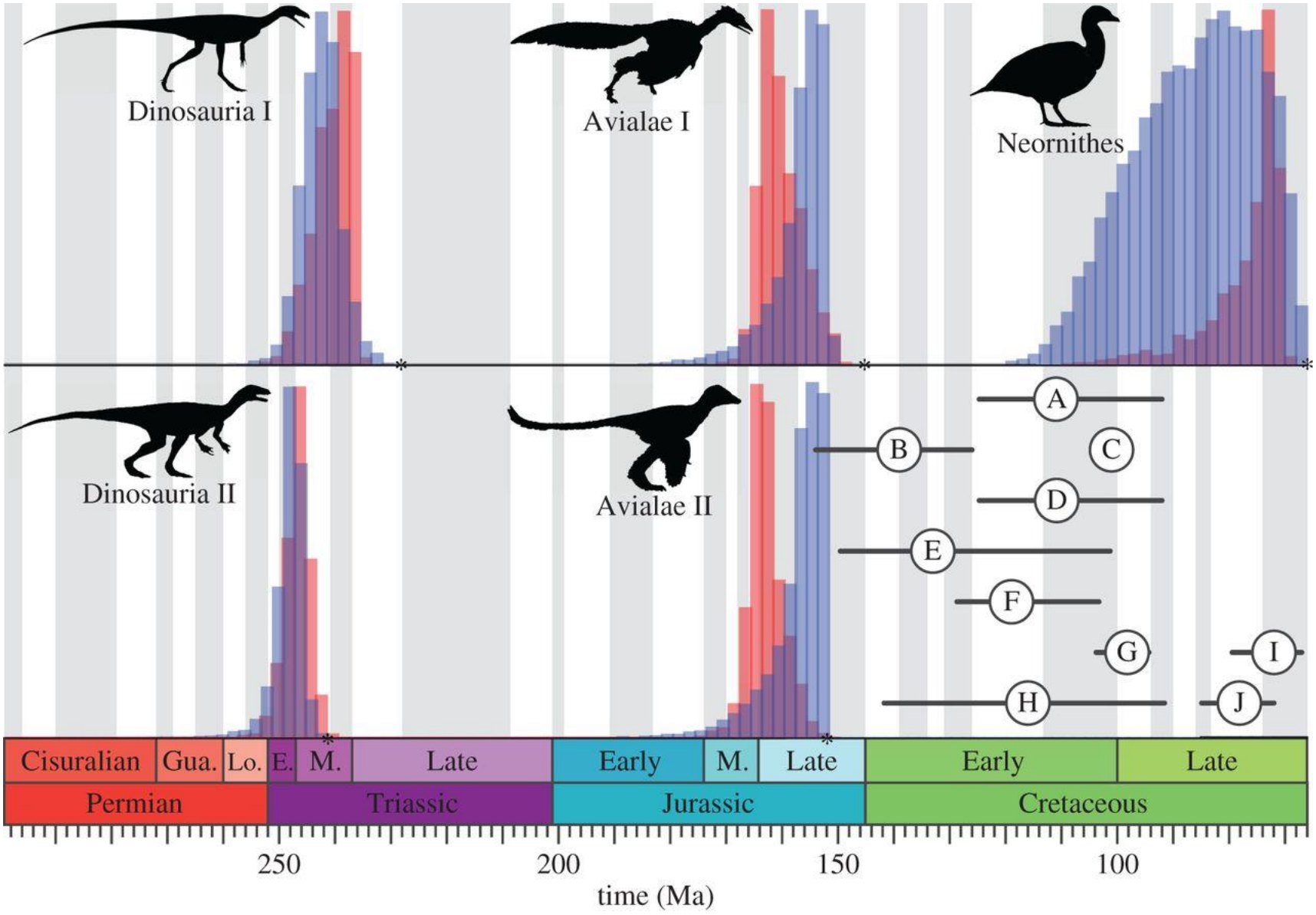
Amniota

A – Sauropsida:

- **Chelonia**
- **Lepidosauria:** Squamata + Sphenodontia (Rhynchocephalia)
- **Archosauria:** Crocodylia + Aves + (†"Dinosauria", †Pterosauria)

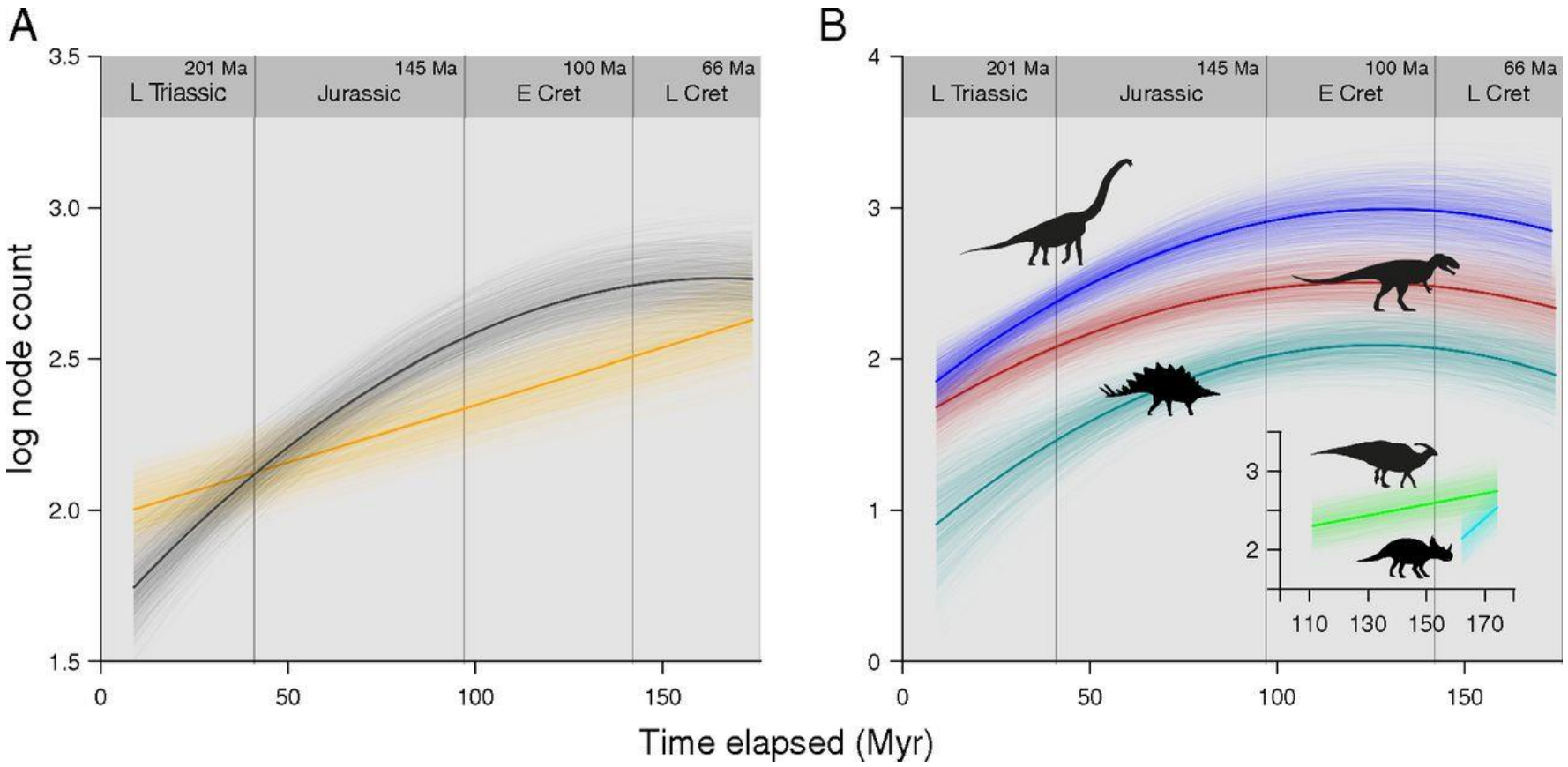


Comparison of probabilistic APT dates for key nodes in dinosaur phylogeny:



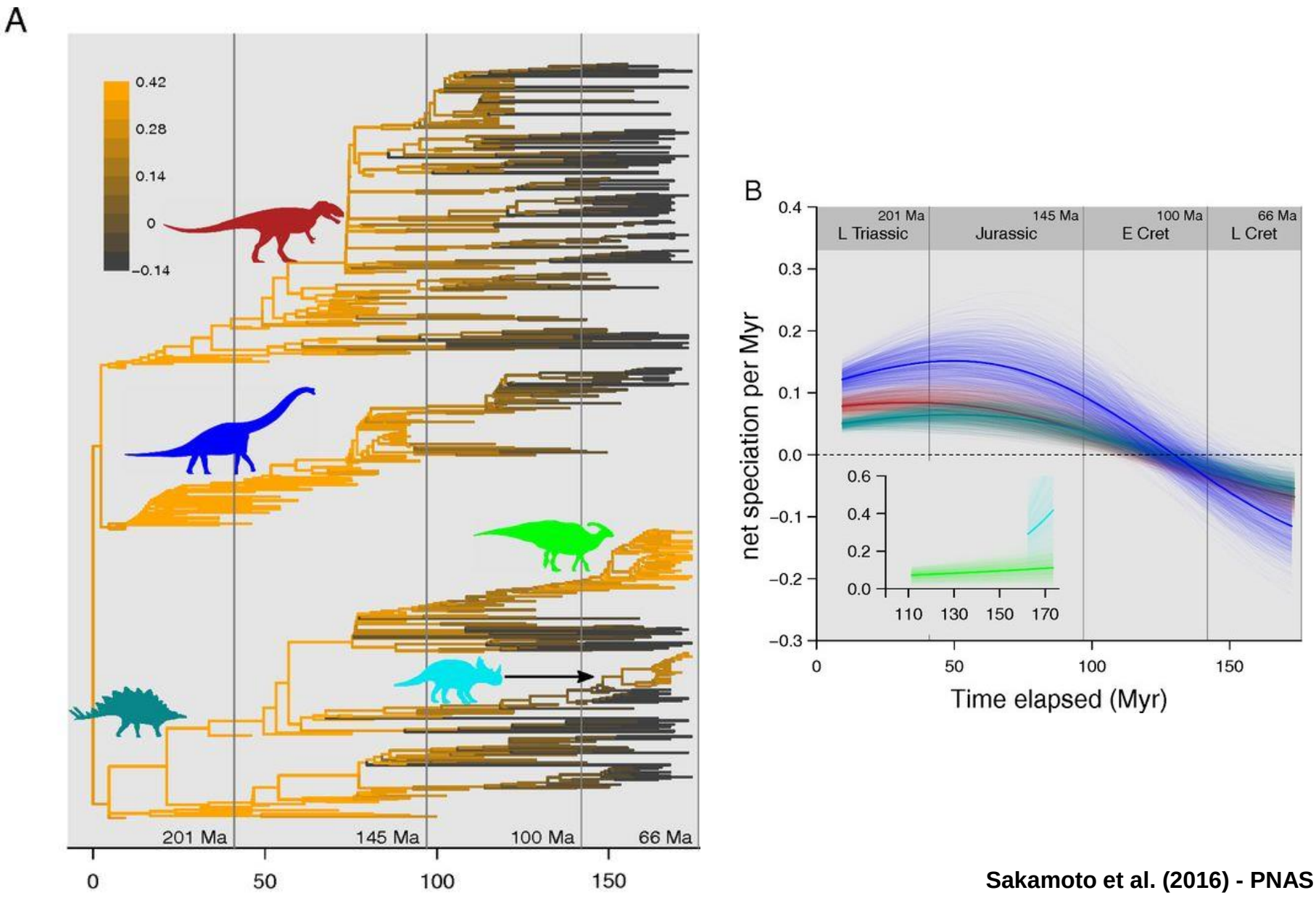
Lloyd et al. (2016) – Biol. Letters

Model predictions of speciation through time in Mesozoic dinosaurs



Sakamoto et al. (2016) - PNAS

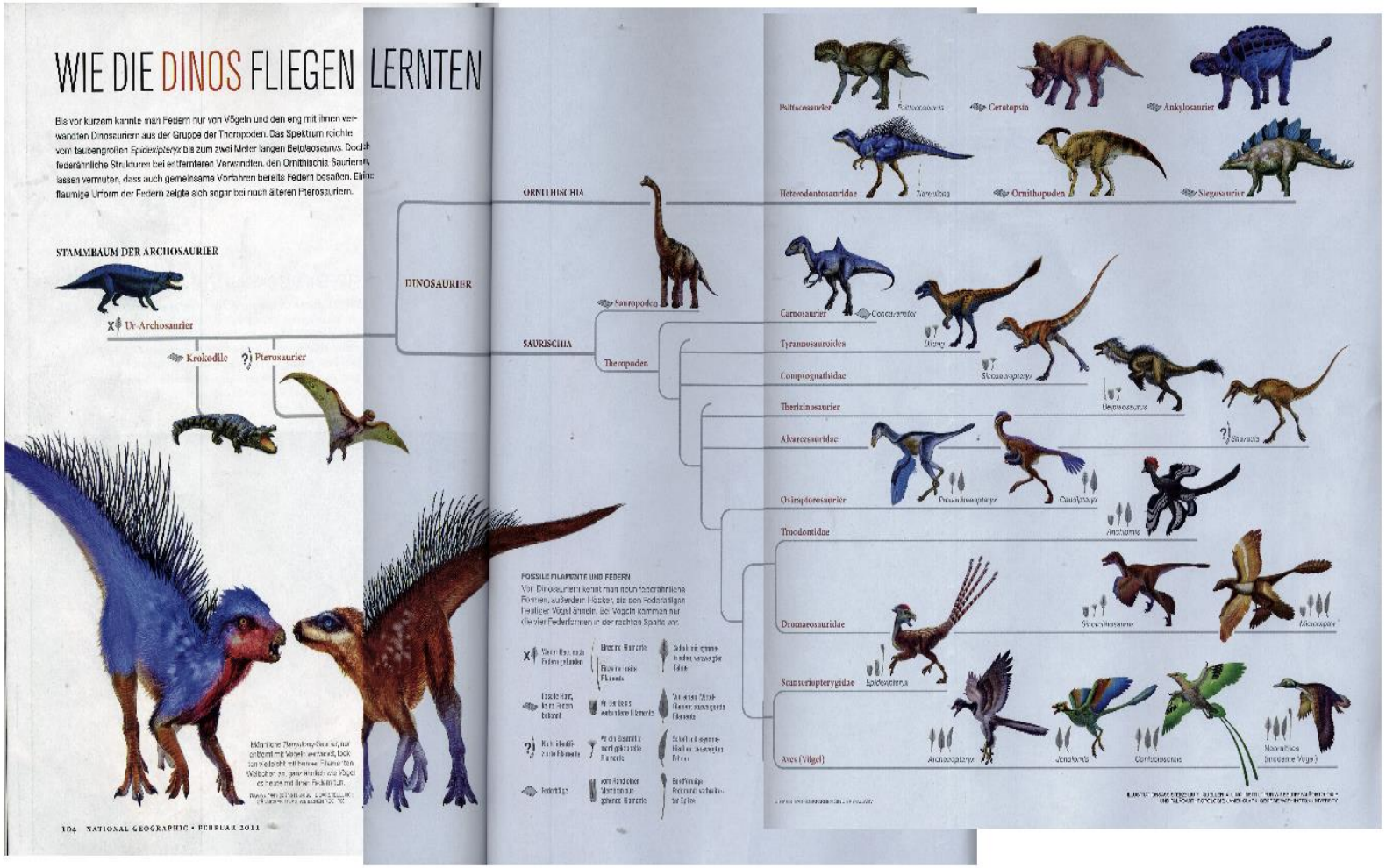
Net speciation per 1 My through time in Mesozoic dinosaurs.



Sakamoto et al. (2016) - PNAS

Aves

- **Die Vorfahren der Vögel**



Aves

- ***„Der Ur-Vogel“ oder die Ur-Feder***

Archaeopteryx lithographica

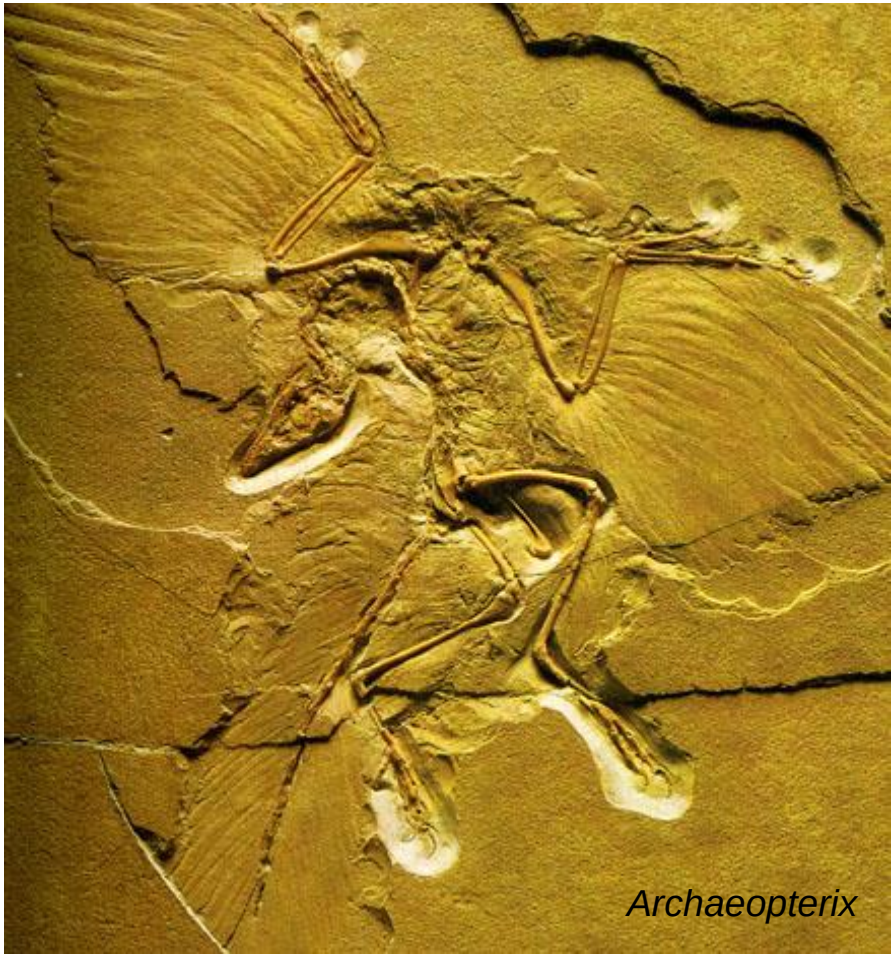
Fig. 703.
Archaeopteryx lithographica H. v. Meyer. Nach dem Berliner Skelet aus dem lithographischen Schiefer von Eichstätt. 2/7 nat. Gr. *cl* Cavicula, *co* Coracoid, *h* Humerus, *r* Radius, *u* Ulna, *c* Carpus.

Fig. 702.
Archaeopteryx lithographica H. v. Meyer. Skelet im britischen Museum von Langenaltheim bei Solnhofen. ca. 1/4 nat. Gr. (nach Owen). Links ist der Hinterfuss, rechts der Vorderfuss besonders dargestellt.

Oberer Jura (ca. 150 Mio J.) von Solnhofen/Eichstätt

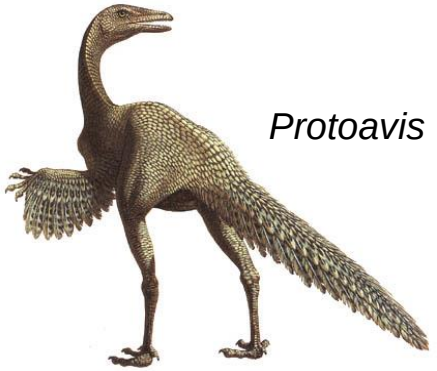
Aves

- **Die Vorfahren der Vögel**



Archaeopterix

Longisquama

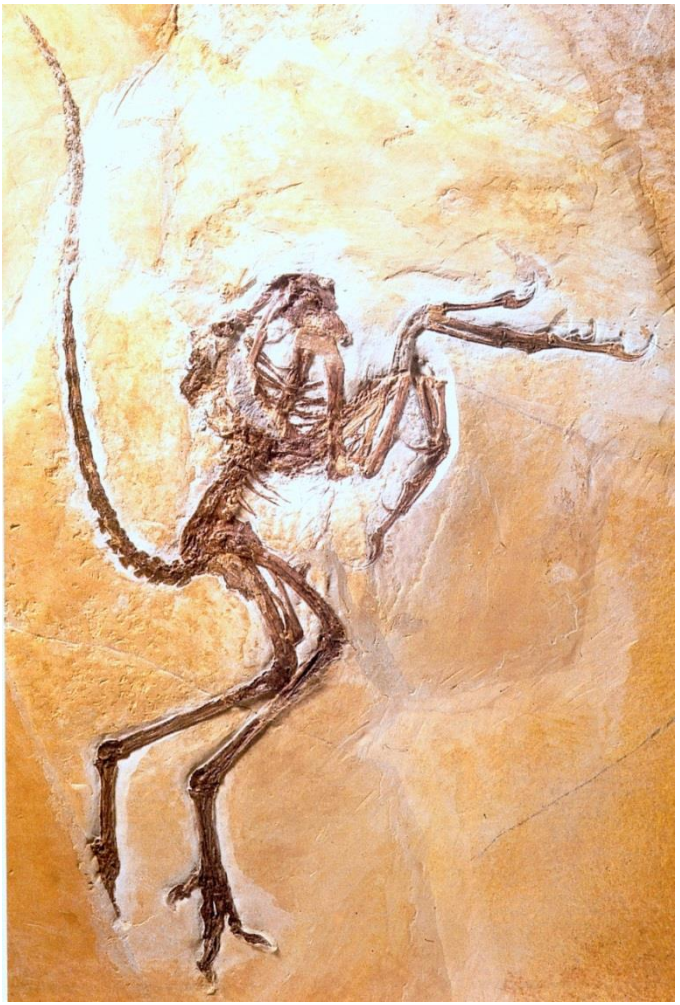


Protoavis

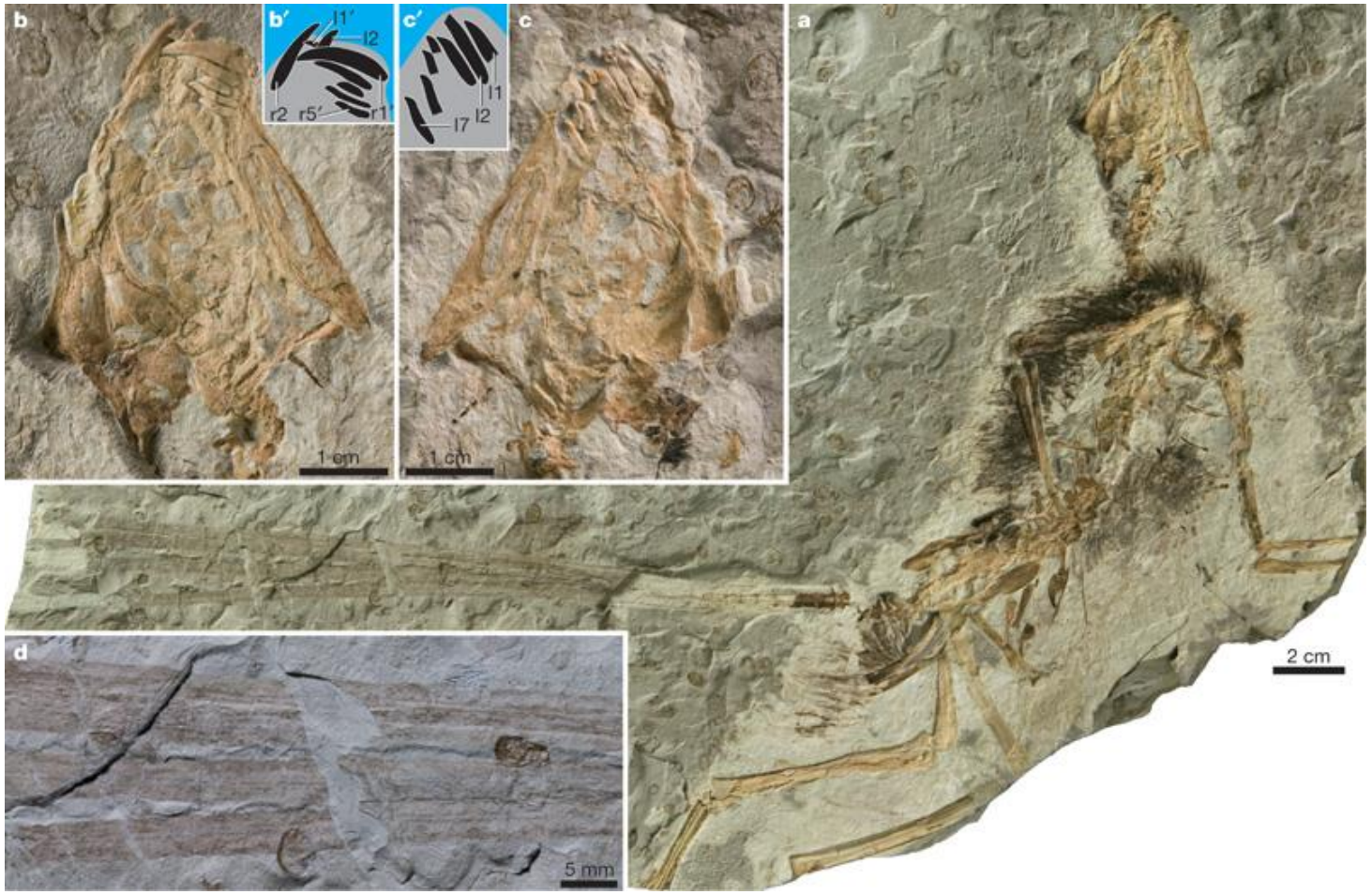
Sinornis santensis

- **Archaeopteryx lithographica,**

- Oberjura, Fränkische Alb, etwa hühnergroß, mit differenzierter Befiederung von Vorderextremitäten, Rumpf und langem Schwanz. Asymmetrisch gebaute Schwungfedern belegen Fähigkeit des Flatterfluges.
- Gegenüber den Dinosauriern sind außerdem abgeleitet die Vergrößerung der Hirnkapsel und die Verlängerung der Vorderextremitäten.
- Ursprünglich gegenüber modernen Vögeln sind u.a. die Zähne, der lange Schwanz sowie der Bau von Hand und hinterer Extremität einschließlich des Beckens.
- Auf dem Evolutionsniveau von Archaeopteryx sind nur sehr wenige Formen bekannt geworden.
- Wir wissen von neueren Funden auch, von z.B. Oviraptoridae, daß Federn lange vor *A. lithographica*, existierten.
- Auch bei den Dromaeosauridae meint man Federn gefunden zu haben. Bei ihnen gab es baumlebende Formen mit vier Flügeln, bei denen die Federn sicher nicht nur der thermischen Isolation gedient haben.



Epidexipteryx hui

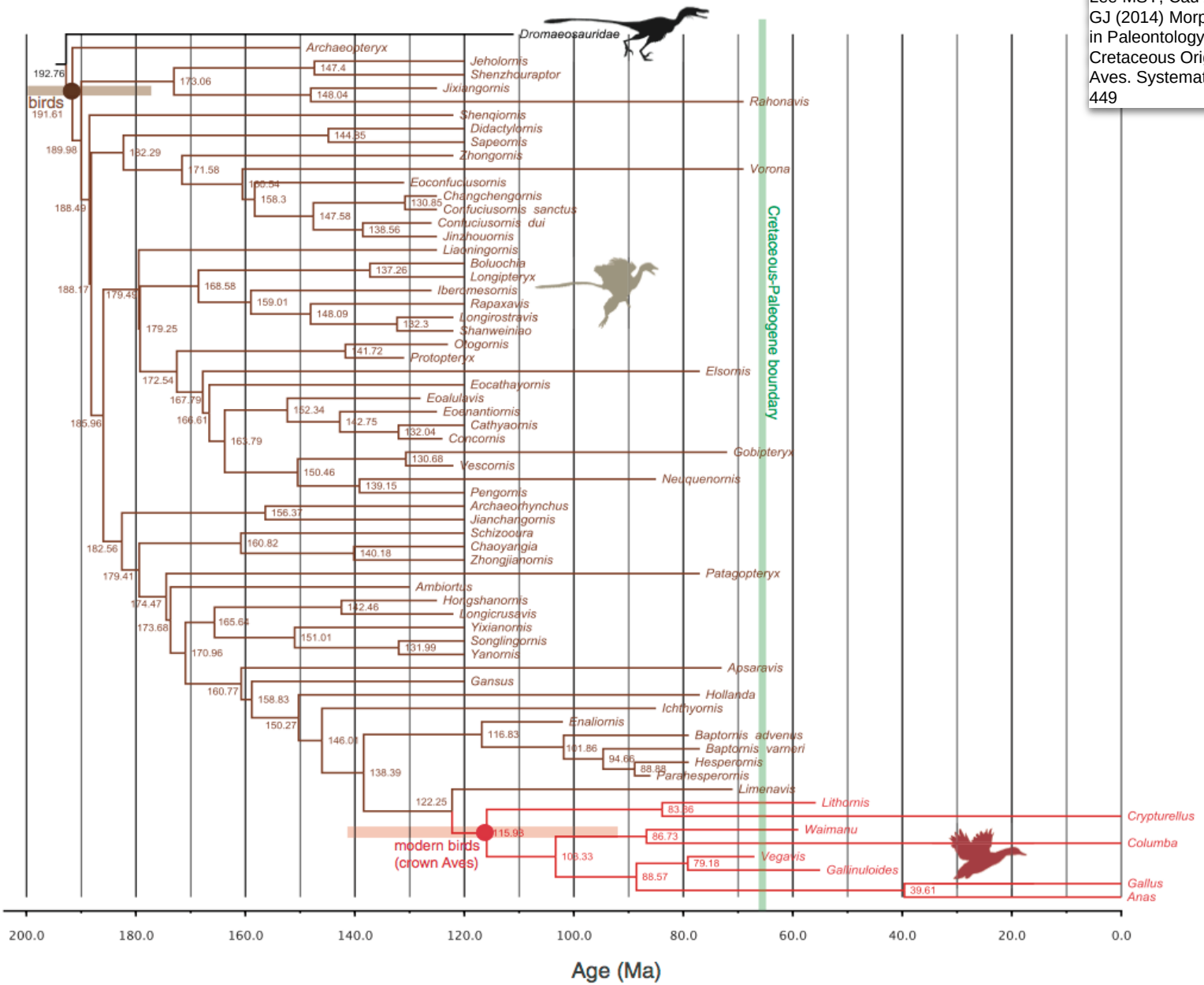


F. Zhang, Z. Zhou, X. Xu, X. Wang and C. Sullivan: *A bizarre Jurassic maniraptoran from China with elongate ribbon-like feathers*. Nature Band 455, 2008

Aves

Epidexipteryx hui

Aves



Lee MSY, Cau A, Naish D, Dyke GJ (2014) Morphological Clocks in Paleontology, and a Mid-Cretaceous Origin of Crown Aves. Systematic Biol 63:442–449

Aves

- **Komplexe Phylogenie**

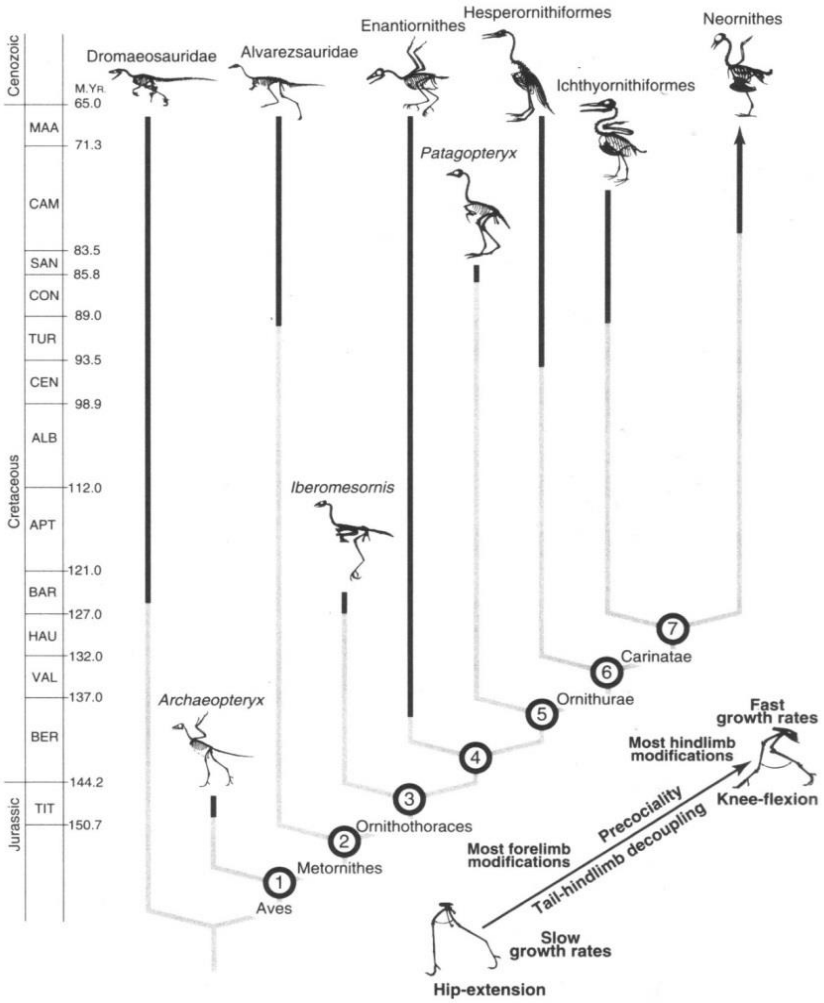
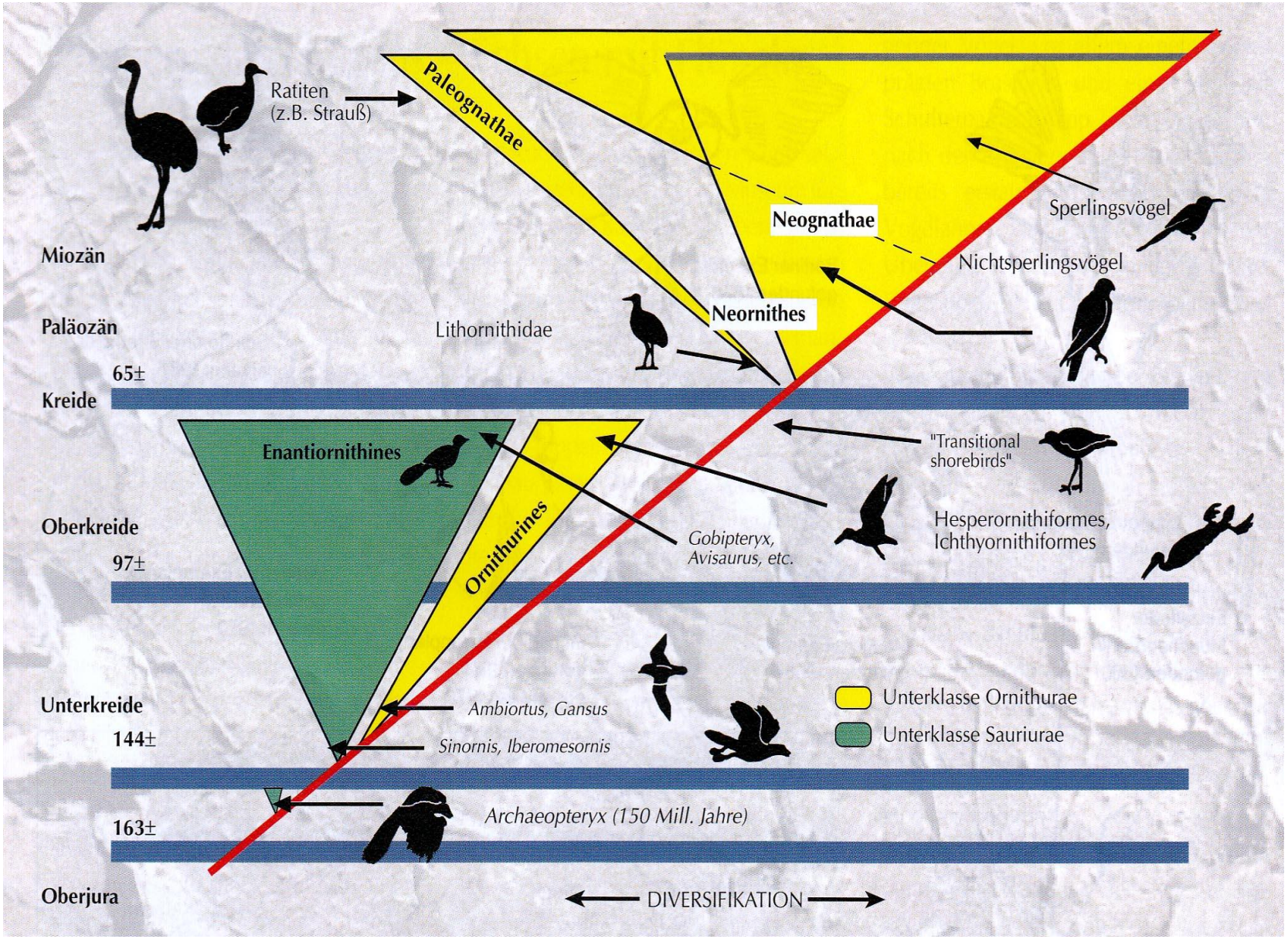


Fig. 1 Phylogenetic relationships of the best-known taxa of mesozoic birds (data from Chiappe and Calvo;[12] Chiappe *et al.*;[60] 146 steps, consistency index = 0.75, retention index = 0.81). *Solid bars* indicate the actual record of each lineage. Phylogenetic calibration of this record implies that most lineages must have had their origin at the beginning of the Cretaceous or even earlier. For example, Turonian ichthyornithiforms imply that, even though reliable evidence of neornithines is Campanian, we should expect to find earlier members of this clade in the Turonian. Indeed, the early Cretaceous ornithurines *Enaliornis* and *Ambiortus* (here not included because their relationships are not clear) indicate that carinate birds, as ornithurines, must have been differentiated at least in the early Cretaceous. Nodes 1 to 7 are diagnosed by the following unequivocal synapomorphies among others: *Node 1* (Aves = Aviale *sensu* Gauthier[3]): fewer than 26 caudals, caudals with short prezygapophyses, teeth with unserrated crowns and crown-base constrictions, completely

Zum Alter der Ratiten oder Palaeognathidae



- **Enantiornithes**

Die meisten Vögel aus der Kreide werden als +Enantiornithes angesehen.

Von ihnen besaßen viele noch Zähne und hatten eine primitive Fußstruktur.

Abgeleitet sind die verlängerte Ulna und der deutliche Extensorfortsatz am Metacarpale des Daumens (Alula).

Hesperornis regalis, Oberkreide USA, marine Ablagerungen, sekundär flugunfähig. Gehört bereits zu den fortschrittlicheren Vertretern der kreidezeitlichen Vögel, ebenso Ichthyornis dispar, ein möwengroßer Wasservogel, ebenfalls Oberkreide, USA.

Hesperornis regalis,
Unterkreide

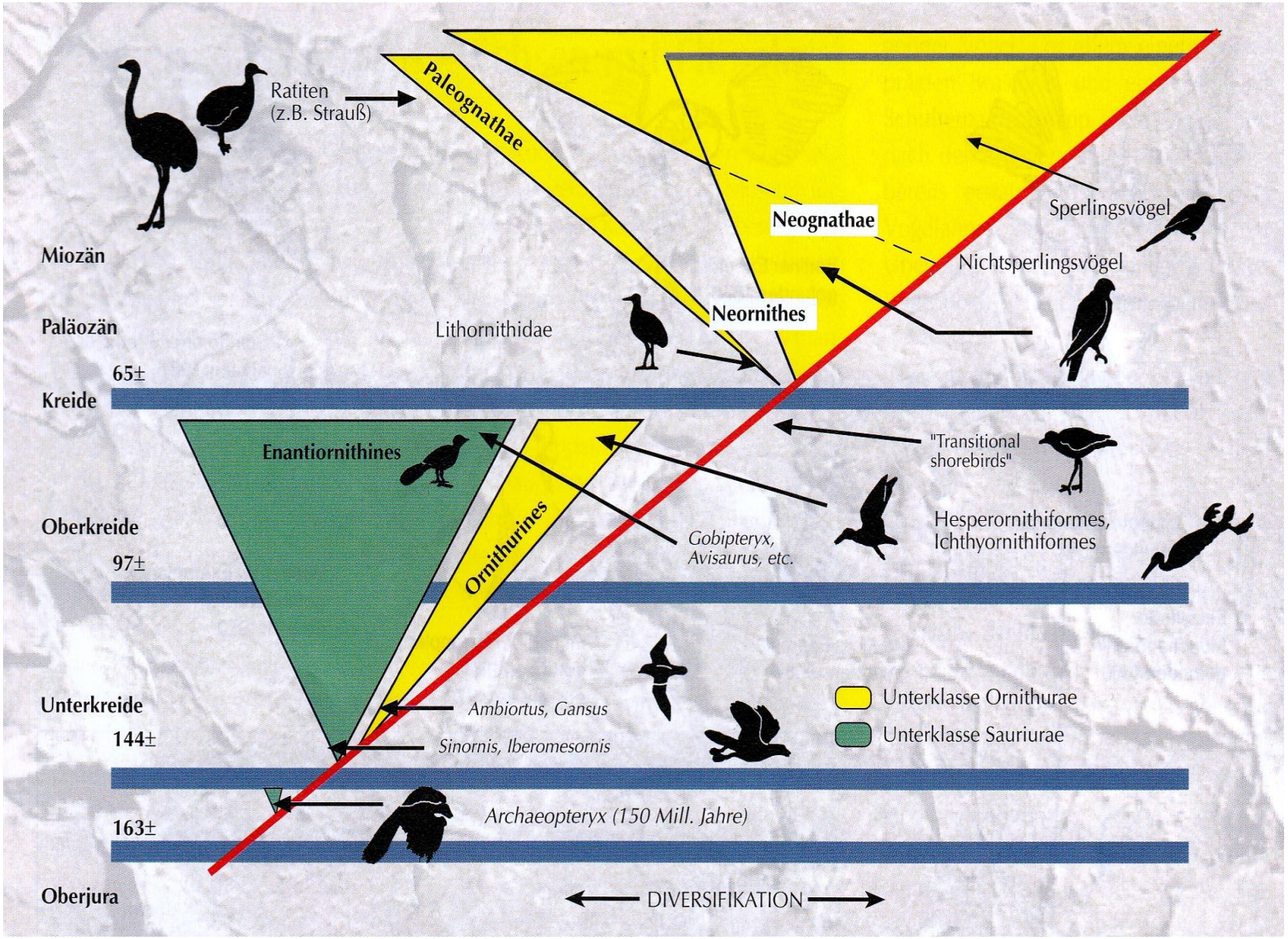
- **Neornithes**

Alle rezenten Vögel – 10 000 Arten - werden als Neornithes klassifiziert. Sie sind fossil nur durch Einzelknochen, aber bereits aus der Oberkreide, dokumentiert. Diese Knochen stammen wahrscheinlich von Regenpfeifer-, Seetaucher- und Gänseartigen.

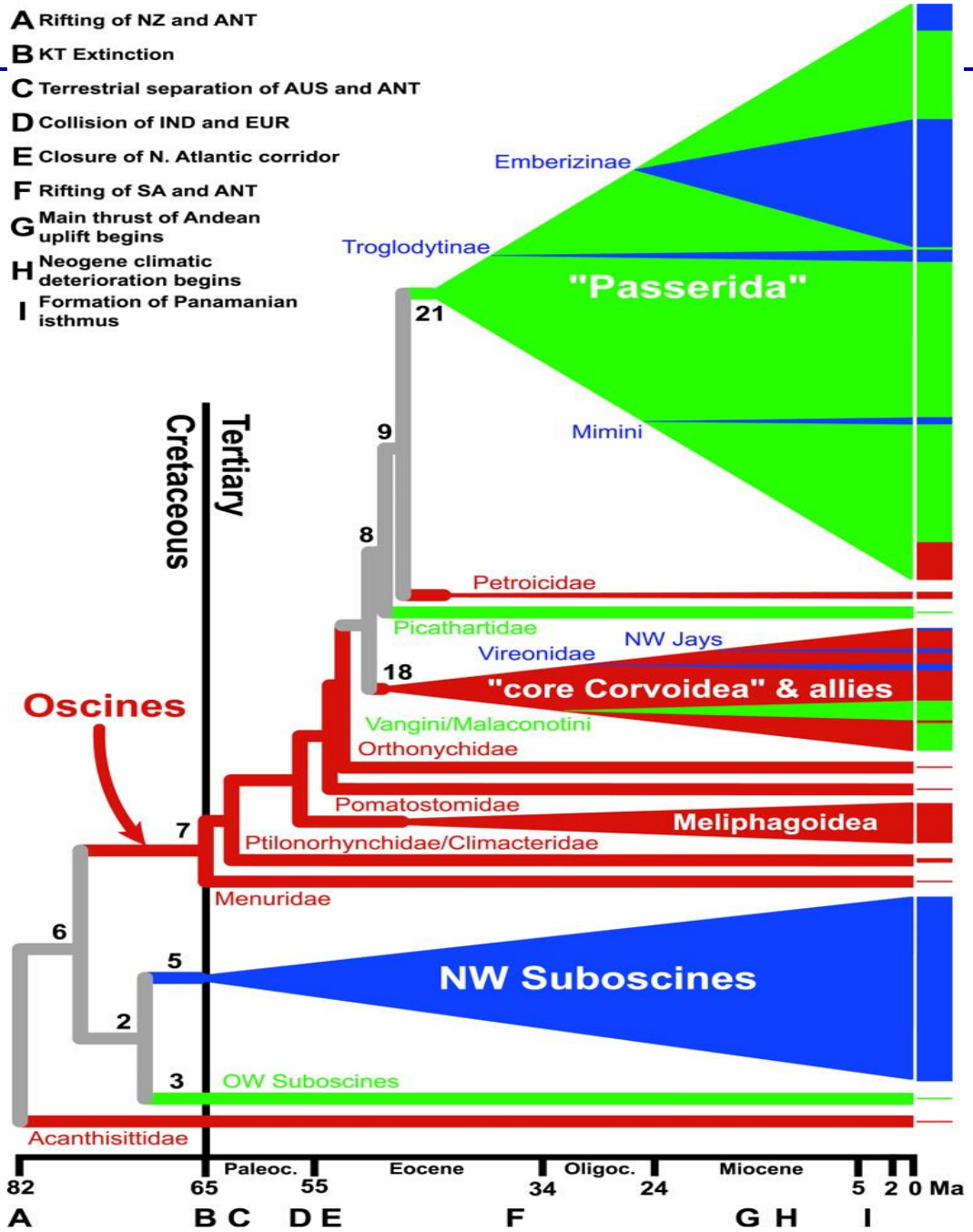
Dies heißt, für moderne Vögel muß eine Entstehung in der Oberkreide angenommen werden. Dies entspricht auch molekulargenetischen Befunden.

Am Ende des Eozäns waren wohl alle Ordnungen vertreten; zu Beginn des Tertiärs gab es eine 1. Radiation, die der Wasservögel und nichtpasserinen Waldbewohner. Eine 2. Radiation gab es im Miozän, an deren Ende alle passeriformen Gruppen vorhanden waren.

Zum Alter der Ratiten oder Palaeognathidae



Radiation der Vögel



Barker et al. (2004) PNAS

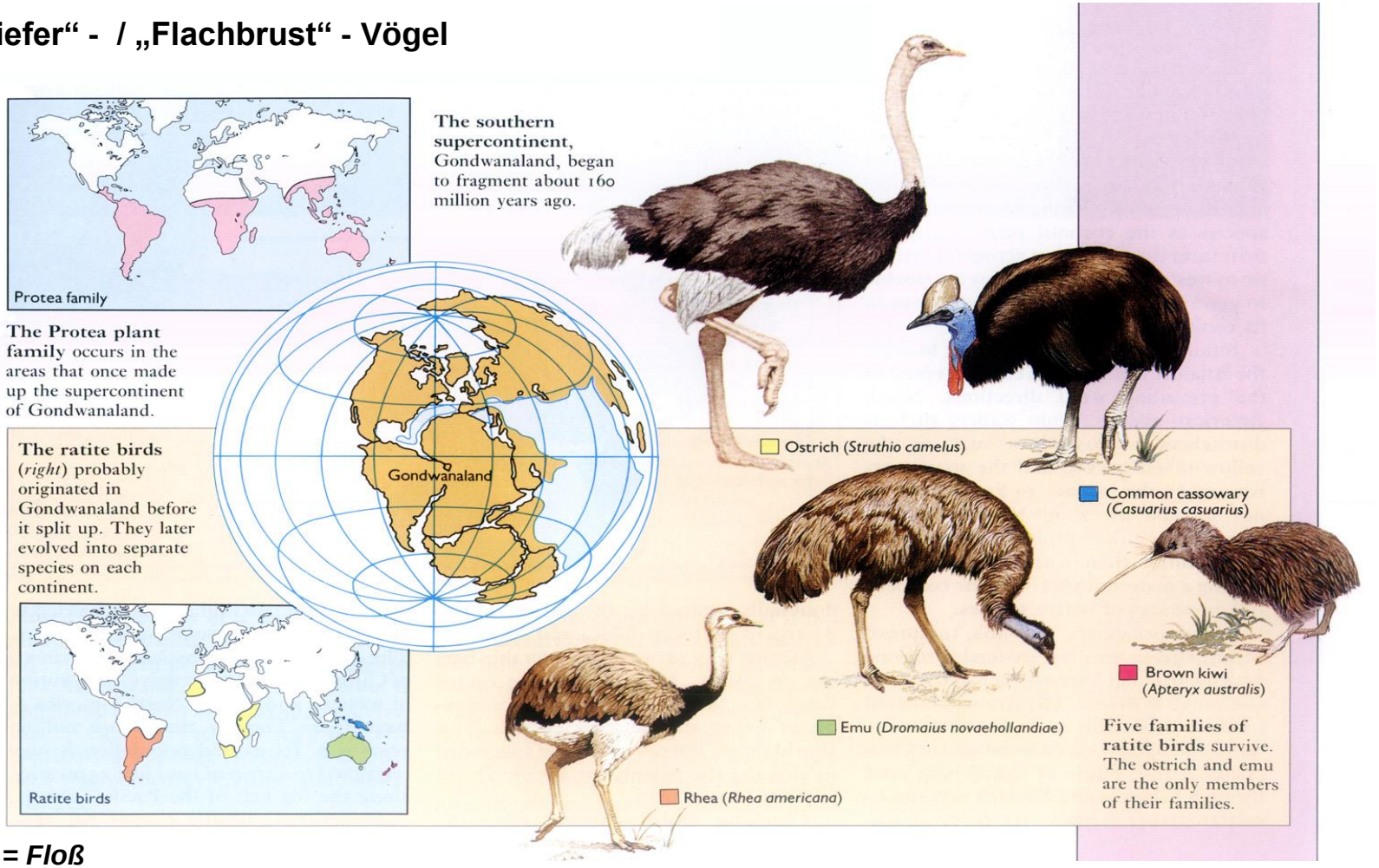
Ratiten – Straußenartige: ein bewegendes Kapitel Erdgeschichte

- **Disjunkte Gondwana-Verbreitung der Steißhühner, Schnepfenstrauße …**

  - Altertümliche Laufvögel mit Gondwana-Ursprung - Fragmentierung & Isolation = Relikt-Vorkommen

  - Fossil-Beleg: flugunfähige Elephantenvögel (*Aepyornis*) auf Madagaskar & Moas (*Dinornis*) auf NZ

- **„Urkiefer“ - / „Flachbrust“ - Vögel**


Protea family
The southern supercontinent, Gondwanaland, began to fragment about 160 million years ago.
The Protea plant family occurs in the areas that once made up the supercontinent of Gondwanaland.
Gondwanaland
The ratite birds (right) probably originated in Gondwanaland before it split up. They later evolved into separate species on each continent.
Ratite birds
Ostrich (Struthio camelus)
Common cassowary (Casuarius casuarius)
Brown kiwi (Apteryx australis)
Emu (Dromaius novaehollandiae)
Rhea (Rhea americana)
Five families of ratite birds survive. The ostrich and emu are the only members of their families.

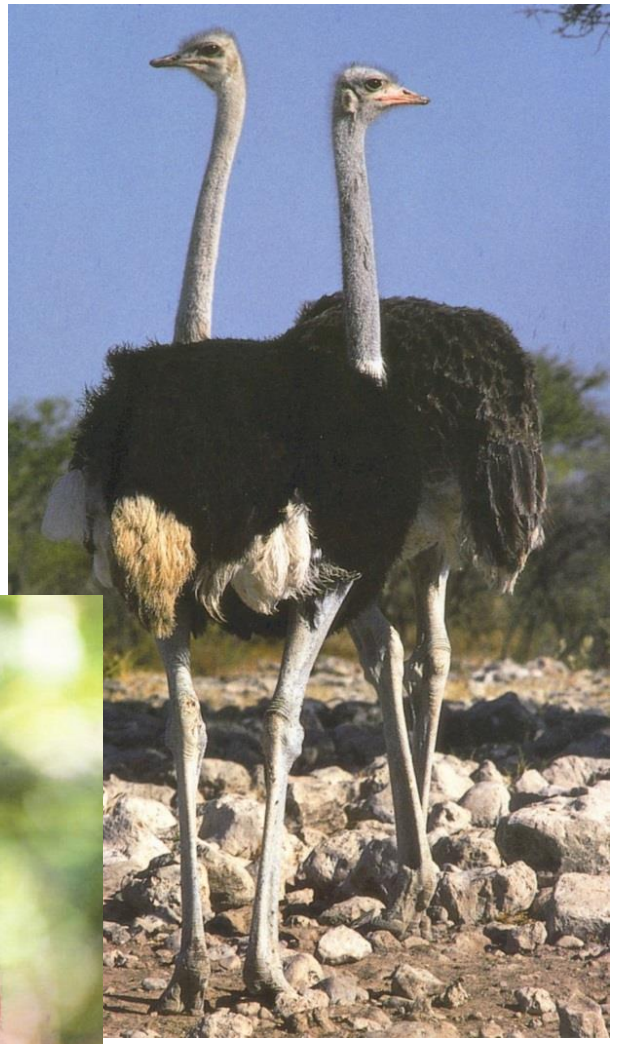
lat. *ratis = Floß*

- **Palaeognathae**

Struthioniformes

- Struthionidae (Strauße)

- 1 Art: *Struthio camelus,* Afrika südlich der Sahara, erst vor kurzem in Arabien und im Vorderen Orient ausgerottet.
- Größter lebender Vogel, sekundär flugunfähig, bis 2,5m Scheitelhöhe und 150kg Gewicht. Fuß mit nur 2 Zehen (3. und 4.) in Anpassung an schnellen Lauf (bis 50kmh).
- Interessante Brutbiologie: Männchen mit Harem, dessen Weibchen ihre Eier alle in ein Nest legen, die nur vom Männchen und dem ranghöchsten Weibchen bebrütet werden. Diese beiden führen auch die geschlüpften Jungtiere.



Struthio camelus

- Rheidae (Nandus)

- 2 Arten, *Rhea americana*, flugunfähige Vögel Südamerikas, 1,40m hoch mit drei Zehen.

- Casuariidae (Kasuare, Emus)

- 4 Arten. Kasuare sind schwere Laufvögel mit 3 Zehen, von denen die 2. eine dolchförmige, als Waffe benutzte Kralle besitzt.
- Nordaustralien, Neuguinea, benachbarte Inseln.
- Männchen übernimmt Brutgeschäft und Betreuung der Jungvögel.

Aves

- **Struthioniformes:**

- Casuariidae (Kasuare, Emus). Emus (Dromaius novaehollandiae) sind die Laufvögel australischer Steppen; auch hier übernimmt das Männchen das Brutgeschäft.

- Apterygidae (Kiwis), 3 Arten, in Podocarpienwäldern Neuseelands. Flügel nur noch kleine Reste, strähniges Gefieder dient nur der Thermoisolation, Nasenlöcher an der Spitze des gebogenen Schnabels. Gutes Geruchsvermögen (großer Bulbus olfactorius), zwei funktionierende Ovarien. Eier (sehr groß, 25% vom Körpergewicht der Weibchen) in selbst gegrabenen Höhlen vom Männchen erbrütet. Stark gefährdet durch verwilderte Haustiere.

- + Dinornithidae (Moas), Neuseeland, ausgerottet durch die Moa-Jäger, die vor den Maoris die Inseln besiedelten. Mindestens 12 Arten, einige haben möglicherweise bis ins 19. Jahrhundert überlebt. Mit den Kiwis verwandt aber groß, einige erreichten bis 3,60m Höhe.

- + Aepiornithidae (Madagaskarstrauße), noch größer als Moas, Eier mit 12kg Gewicht, Grund und Zeitpunkt des Aussterbens unbekannt.

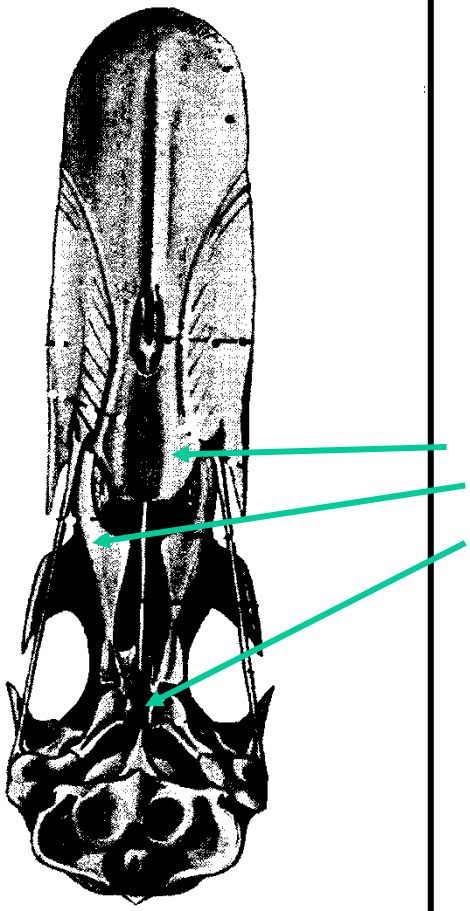
- **Tinamiformes** mit den Tinamidae (Steißhühner), 47 Arten. Enge Verwandte der Struthioniformes, jedoch mit Flugvermögen. Unterschiedliche Lebensräume, von Regenwäldern bis in trockene Hochplateaus, von Südmexiko bis Südamerika. Männchen übernimmt das Brutgeschäft und betreut die Jungen.

Dromaius novaehollandiae

Tinamus spec. Steißhühner erinnern im Habitus an Wachteln; sie fliegen nicht gern und drücken sich bei Gefahr an den Boden

- **Neornithes - nach Konstruktion des Munddaches:**

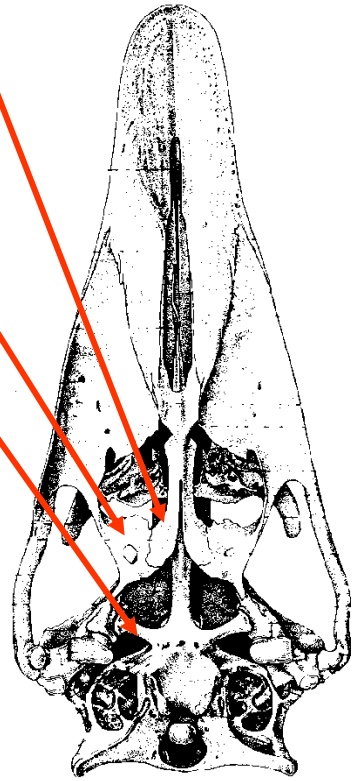
Neognathae



Palaeognathae

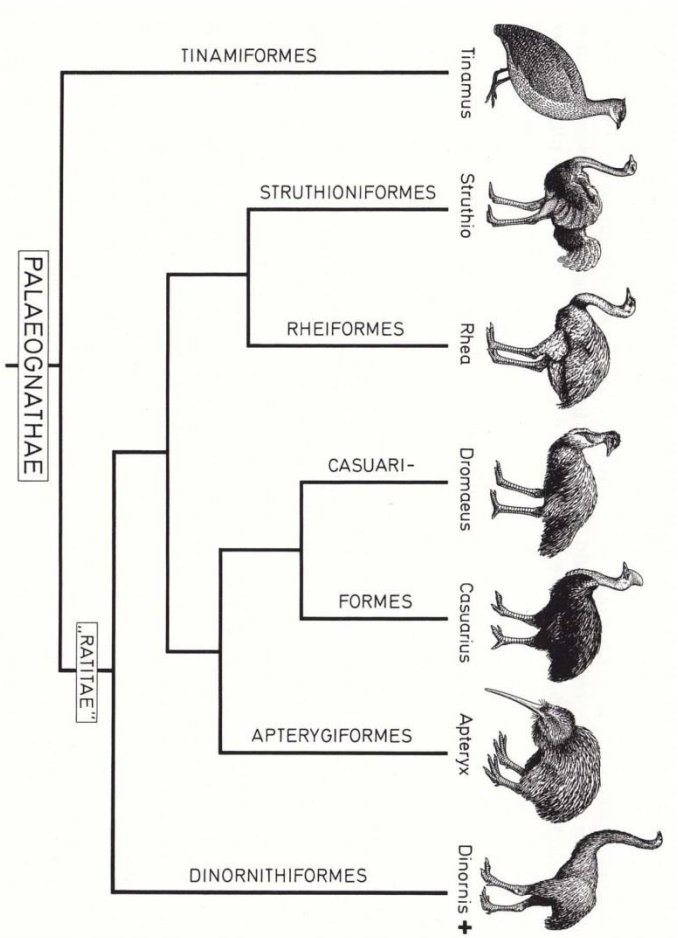
Weit hinten liegende große Basipterygoidfortsätze,
Vomer groß, bildet Gleitrinne am Rostrum,
Palatina median nicht in Verbindung
kein interpterygoidales Gelenk.

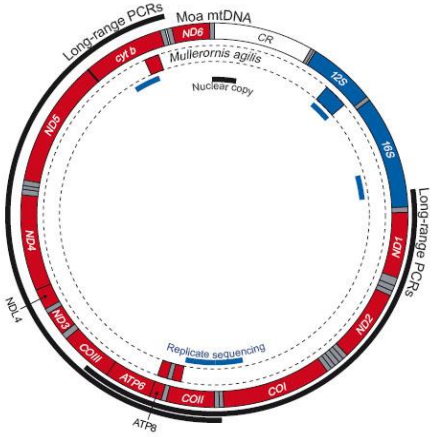
Reduktion der Basipterygoidfortsätze (oder sie rücken nach vorn)
Ausbildung eines Interpterygoidgelenks

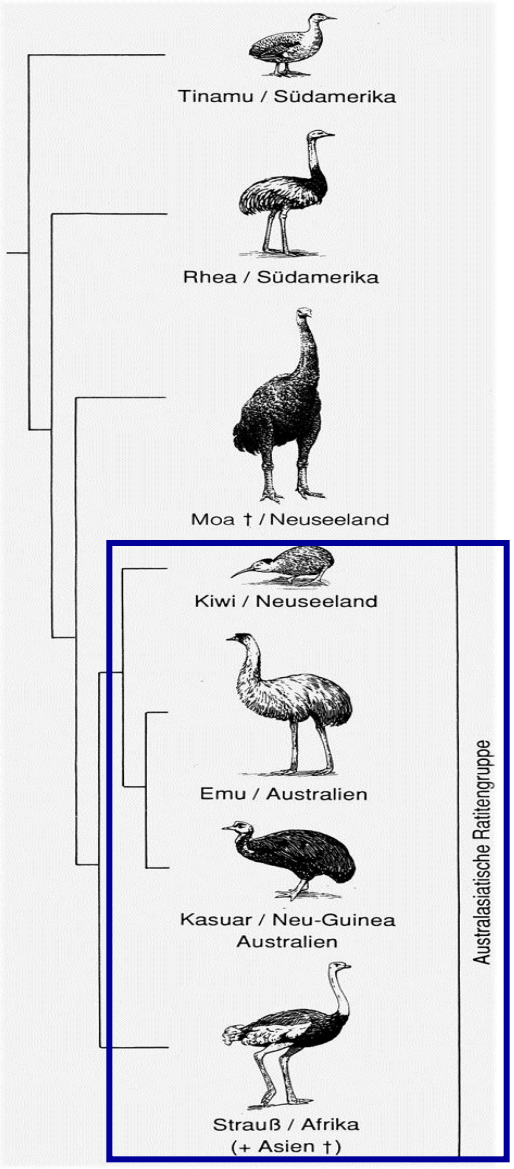


Spätankömmlinge in der „Arche Noah“

- **„*ancient DNA*“ - 3000 Jahre alt (400 bp, 12 S / mtDNA-Genom)**







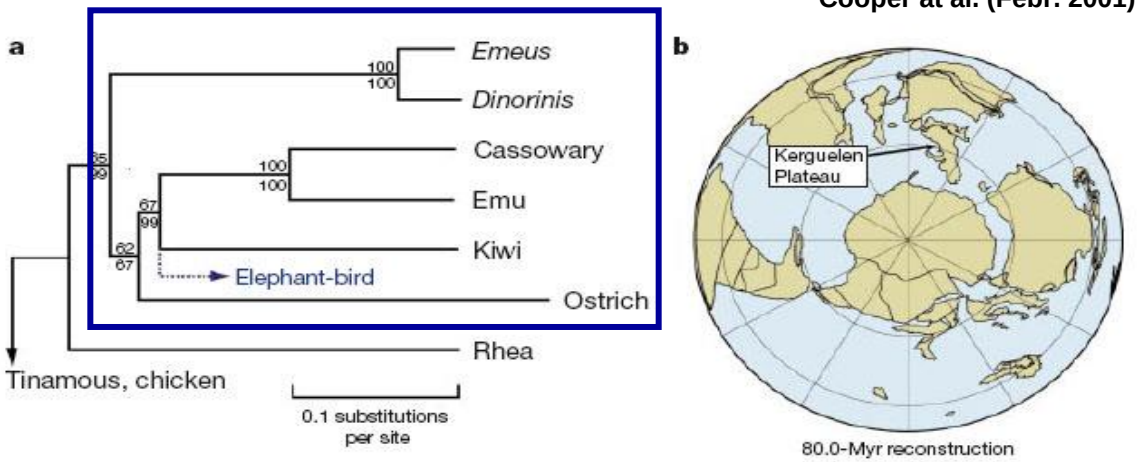
- **unabhängige Besiedlung NZ**
  & Verlust Flugfähigkeit

Cooper et al. (1992) PNAS / (2001)

Gondwana-Vikarianz: gut gelaufen – schlecht geflogen

- **Alter: 90 ma**
- **Vikarianz**

Cooper at al. (Febr. 2001) Nature



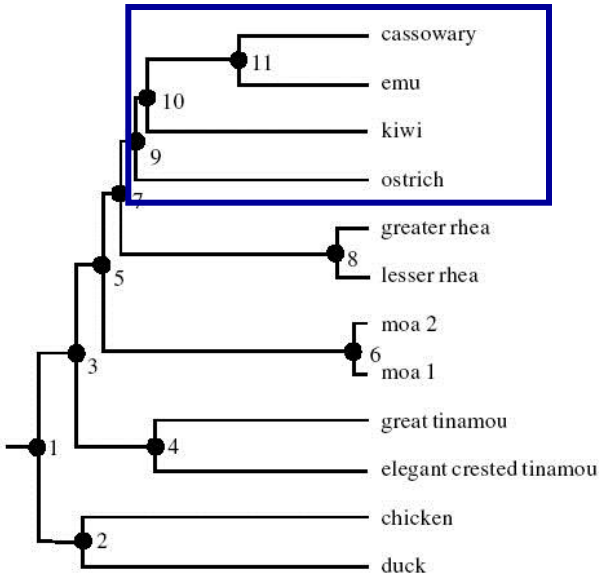


Figure 2. Tree topology with branch lengths scaled proportional to divergence times calculated with the program r8s. Nodes are numbered according to table 2.

- **primär flugfähig !**
  Verlust Flugfähigkeit später
  nur in Isolation / auf Inseln ?

- **Fernverbreitung / „*dispersal*“ ?**

- **Landverbindungen !**

Haddrath & Baker (Mai 2001) PRSL

Aves

- **c. 10.000 Arten**

Dank ihre Flugfähigkeit konnten Vögel alle möglichen Lebensräume erobern.

- **Flugvermögen & Federn:**

Reptilschuppen homolog, entwickeln sich aus den selben Anlagen;
dienten ursprünglich der Isolation und der Aufrechterhaltung der Körperwärme (**Homiothermie**)

- **Blutkreislauf** vollständig getrennt,

- **Schnabelbildung**

durch Verlängerung der Prämaxillaria

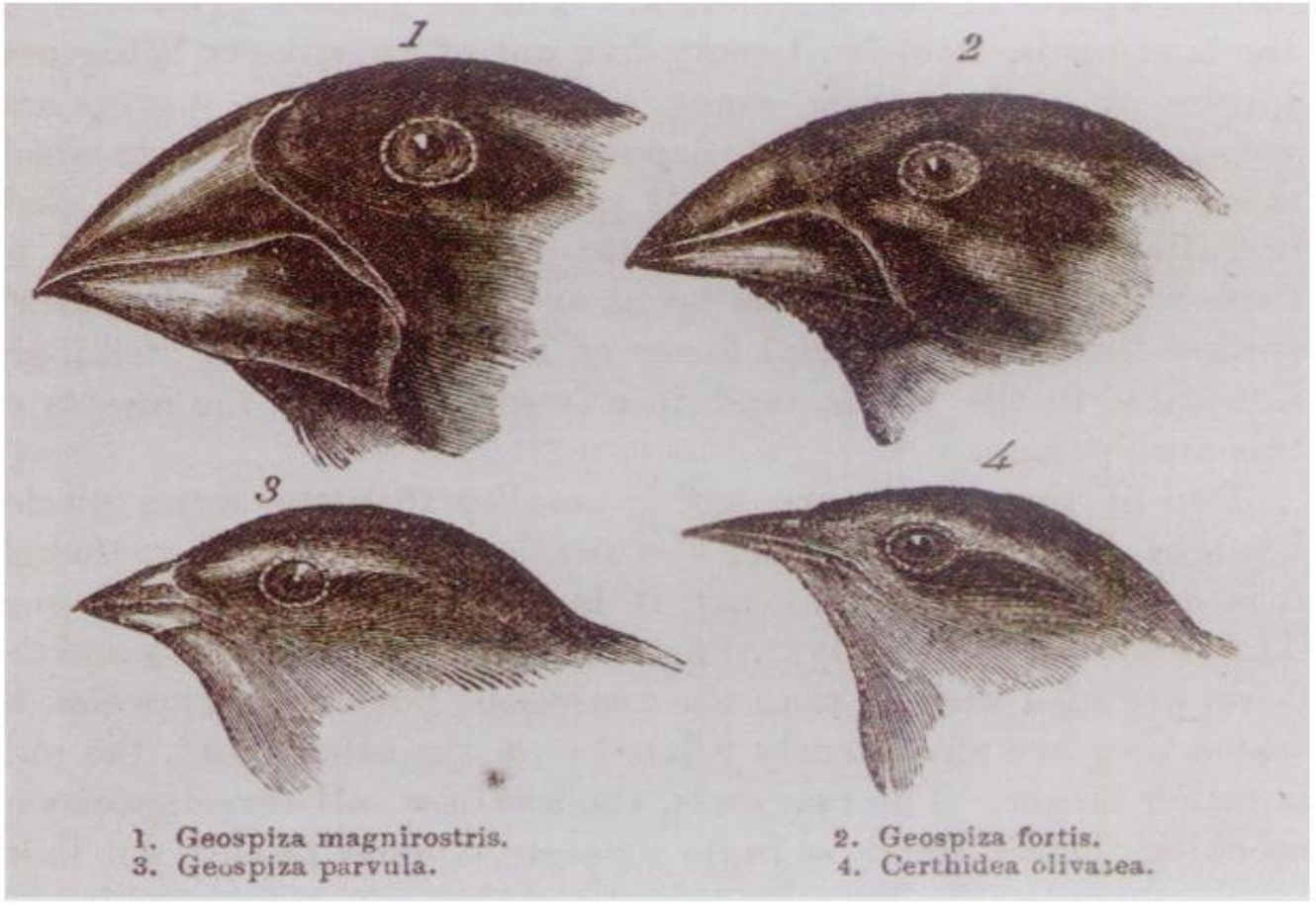
Auf der knöchernen Grundlage des Schnabels befinden sich die Hornscheiden, die aus Material unterschiedlicher Härte zusammen gesetzt sind.

- **keine Zähne,** nur Hornschnabel mit Hornzähnen; ursprünglich thecodonte Zähne.

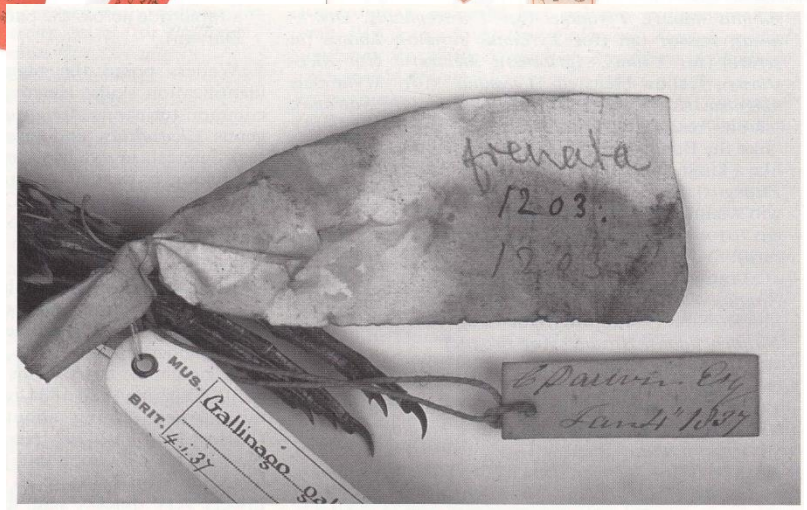
Schnabelform und –größe sind Ausdruck der Ernährung der jeweiligen Art

Aves (Vögel)

- **Schnabelgröße** und vor allem **Schnabelform** stehen in engem Zusammenhang mit der Ernährungsweise der einzelnen Vogelarten und finden in einem gewissen Sinn ihre Parallele in der vielgestaltigen Ausprägung der Säugergebisse, insbesondere im Backenzahnbereich.



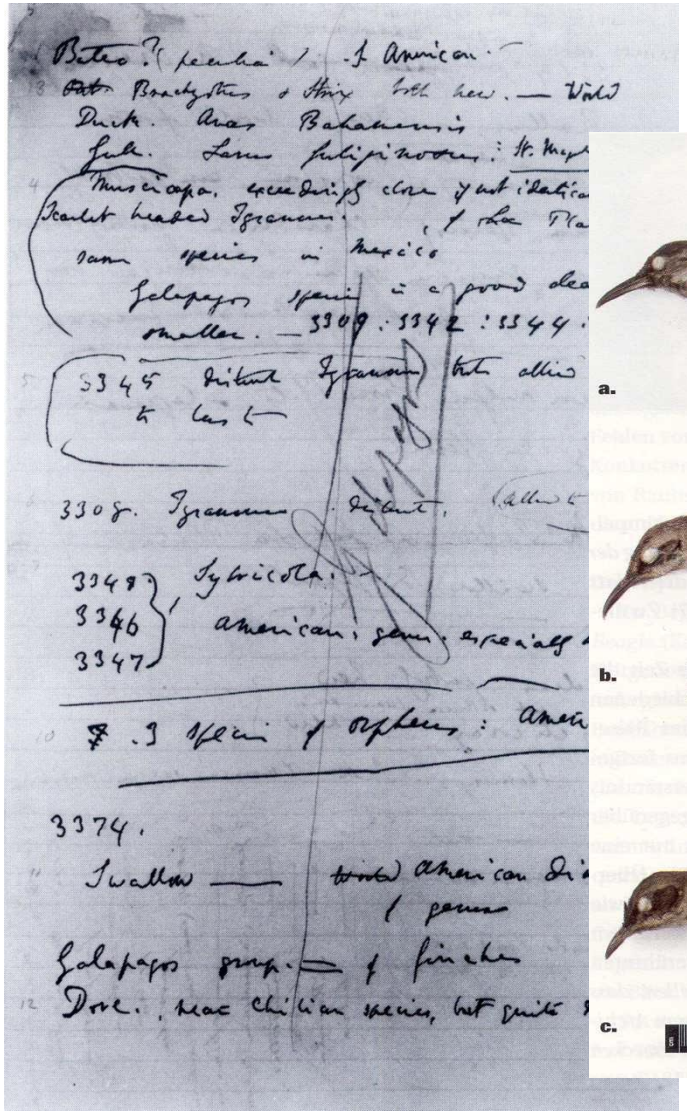
Darwin und die Finken



Galapagos-Spottdrosseln - *Es war die Drossel, und nicht der Fink …*

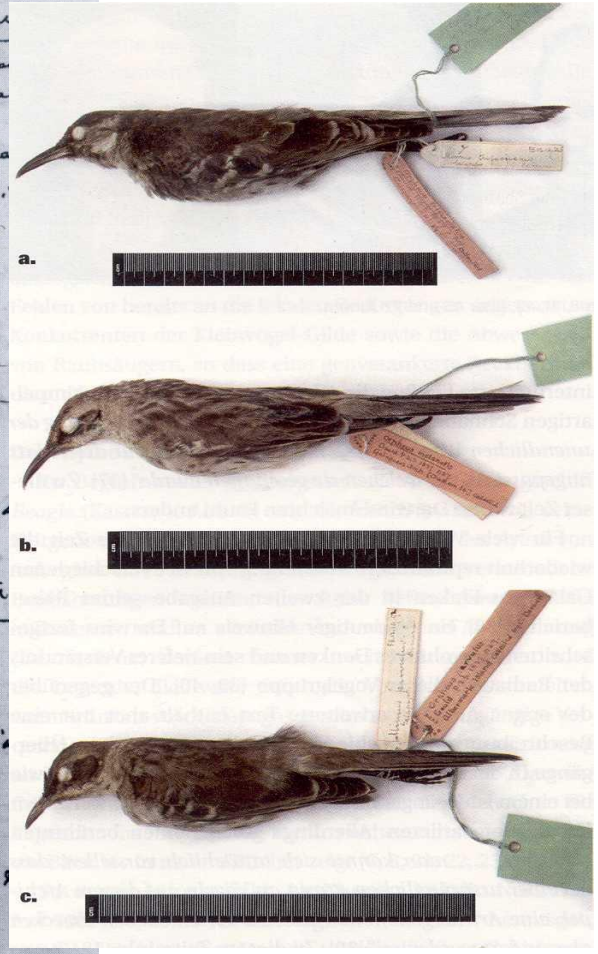
Darwins Spottdrosseln

- **Darwins Notizen**



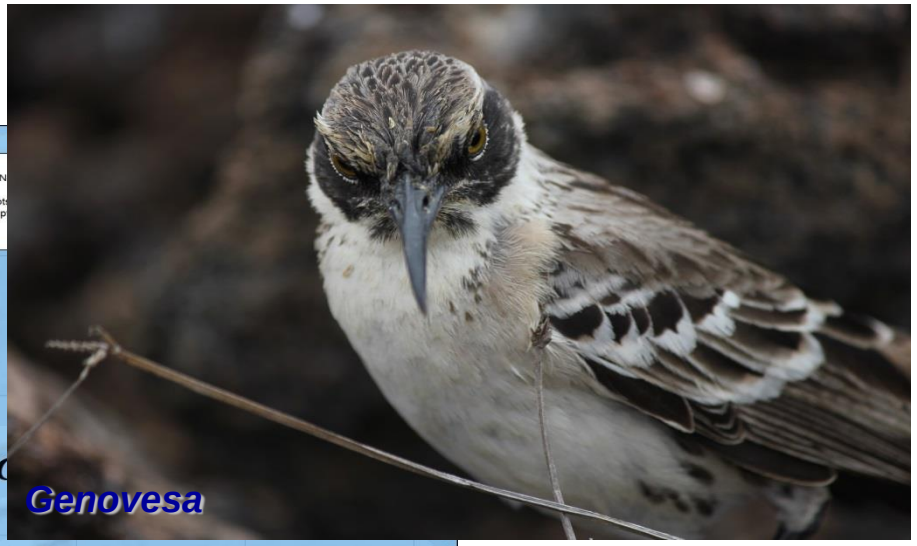
„Meine Aufmerksamkeit wurde zuerst auf das Lebhafteste angeregt, als ich die zahlreichen von mir … geschossenen Exemplare der Spottdrosseln miteinander verglich.“

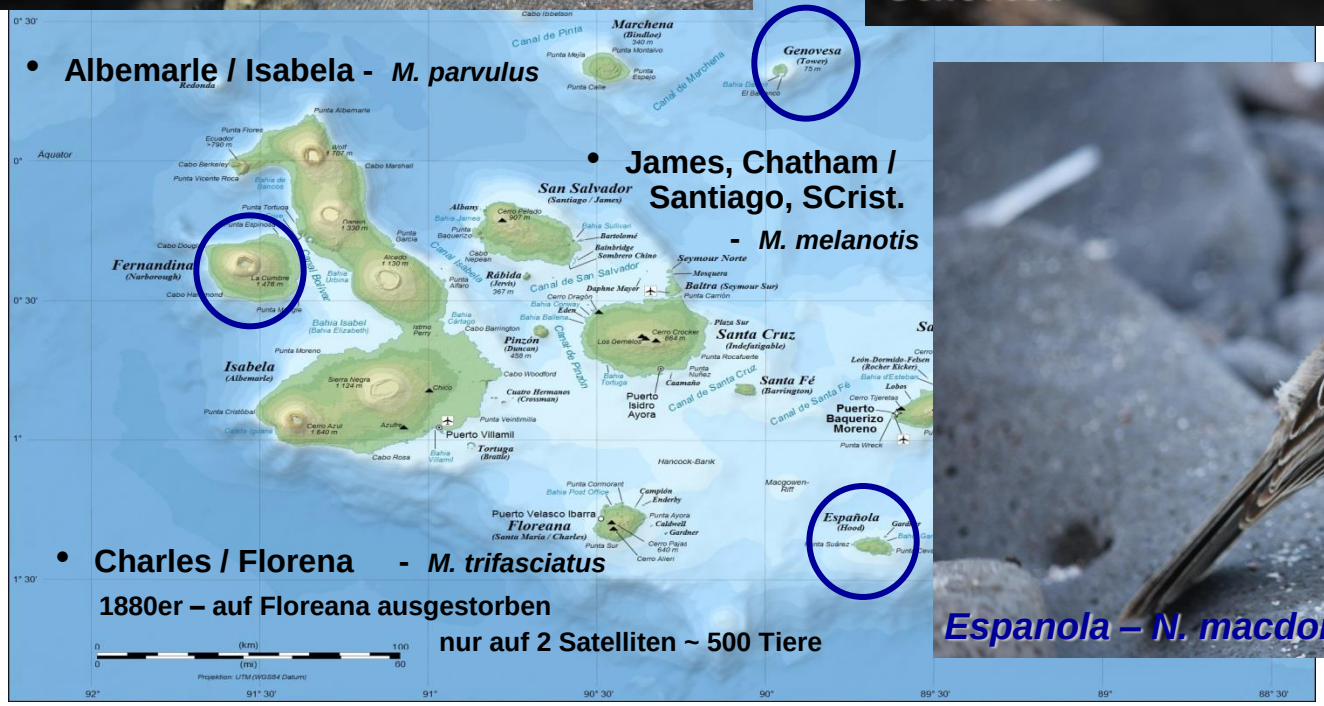
(CD, „*Beagle Journal*“ - 1839)



- **Charles / Florena - *M. trifasciatus***
- **Albemarle / Isabela - *M. parvulus***
- **James, Chatham / Santiago, SCrist. - *M. melanotis***

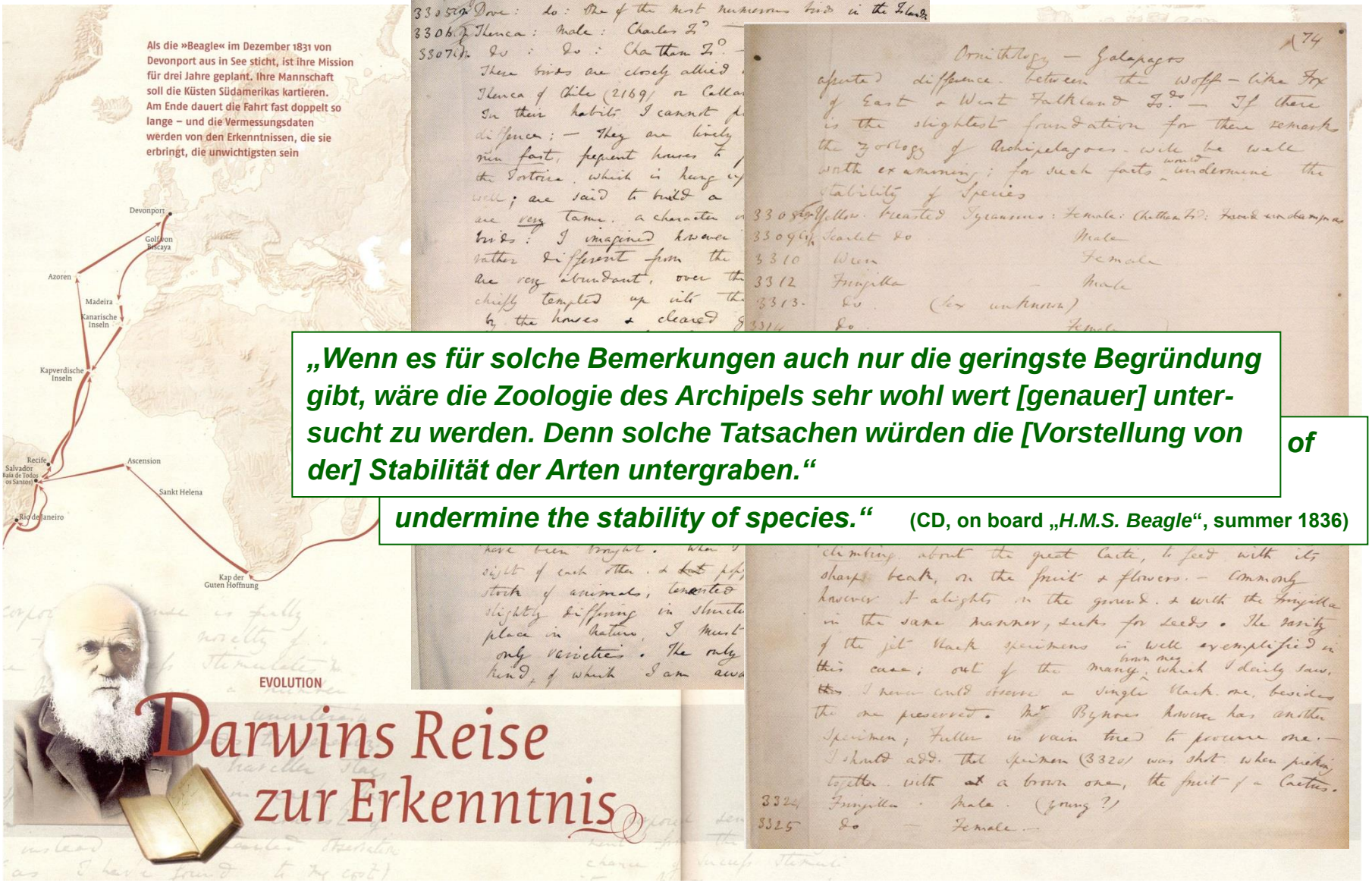
Entdeckung auf Galapagos - Darwins Spottdrossel





Darwin Reise zur Erkenntnis

- **Ornithologische Notizen:**


Als die »Beagle« im Dezember 1831 von Devonport aus in See sticht, ist ihre Mission für drei Jahre geplant. Ihre Mannschaft soll die Küsten Südamerikas kartieren. Am Ende dauert die Fahrt fast doppelt so lange – und die Vermessungsdaten werden von den Erkenntnissen, die sie erbringt, die unwichtigsten sein
Devonport
Golf von Biscaya
Azoren
Madeira
Kanarische Inseln
Kapverdische Inseln
Recife
Salvador Baia de Todos os Santos
Ascension
Sankt Helena
Rio de Janeiro
Kap der Guten Hoffnung
EVOLUTION
Darwins Reise zur Erkenntnis
Ornithology — Galapagos
Ornithology — Galapagos
Yellow. Creasted Tyrannus : Female: Chatham Is.: Frank Lindsay
Scarlet do Male
Wren Female
Fringilla Male
do (Sex unknown)
do Female
Fringilla Male (young ?)
do Female

„Wenn es für solche Bemerkungen auch nur die geringste Begründung gibt, wäre die Zoologie des Archipels sehr wohl wert [genauer] unter-sucht zu werden. Denn solche Tatsachen würden die [Vorstellung von der] Stabilität der Arten untergraben.“

undermine the stability of species.“ **(CD, on board „*H.M.S. Beagle*“, summer 1836)**

Aves

- **c. 10.000 Arten**

Dank ihre Flugfähigkeit konnten Vögel sämtliche Lebensräume erobern

- **Flugvermögen & Federn:**

Reptilschuppen homolog, entwickeln sich aus den selben Anlagen;
dienten ursprünglich der Isolation und der Aufrechterhaltung der Körperwärme (**Homiothermie**)

- **Blutkreislauf** vollständig getrennt

- **Schnabelbildung**

durch Verlängerung der Prämaxillaria

Auf der knöchernen Grundlage des Schnabels befinden sich die Hornscheiden, die aus Material unterschiedlicher Härte zusammen gesetzt sind.

- **keine Zähne,** nur Hornschnabel mit Hornzähnen; (ursprünglich thecodonte Zähne)

Schnabelform und –größe sind Ausdruck der Ernährung der jeweiligen Art

Aves

- **Autapomorphien im Skelettsystem der Vögel**